



МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2022  
«ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

Электронный сборник статей  
по материалам конференции

2



**ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2022  
«ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»**

Международная молодежная научная конференция  
(Казань, 27-29 апреля 2022 г.)

Электронный сборник статей  
по материалам конференции

В трех томах

ТОМ 2

ISBN 978-5-89873-598-2



9 785898 735982

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

**ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2022 «ЭНЕРГЕТИКА И  
ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»**

Международная молодежная научная конференция  
(Казань, 27-29 апреля 2022 г.)

Электронный сборник статей по материалам конференции

В трех томах

ТОМ 2

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

Казань 2022

УДК 621.1+621.3+621.04+681.5+574

ББК 31+32.96+28.08

М43

Рецензенты:

заведующий кафедрой ЭиЭ ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»,

доктор технических наук, доцент К. В. Суслов;

проректор по РиИ ФГБОУ ВО «КГЭУ»,

доктор технических наук, доцент И. Г. Ахметова

Редакционная коллегия:

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

Е. С. Дремичева

М43           Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения – 2022 «Энергетика и цифровая трансформация»: электронный сборник статей по материалам конференции: [в 3 томах] / под общей редакцией ректора КГЭУ Э. Ю. Абдуллазянова. – Казань: КГЭУ, 2022. – Т. 2. – 555 с.

ISBN 978-5-89873-598-2 (т. 2)

ISBN 978-5-89873-600-2

В электронном сборнике представлены статьи по материалам Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения – 2022 «Энергетика и цифровая трансформация», в которых изложены результаты научно-исследовательской работы молодых ученых, аспирантов и студентов по проблемам в области тепло-и электроэнергетики, ресурсосберегающих технологий в энергетике, энергомашиностроения, инженерной экологии, электромеханики и электропривода, фундаментальной физики, современной электроники и компьютерных информационных технологий, экономики, социологии, истории и философии.

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

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

УДК 621.1+621.3+621.04+681.5+574

ББК 31+32.96+28.08

ISBN 978-5-89873-598-2 (т. 2)

© КГЭУ, 2022

ISBN 978-5-89873-600-2

# ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

## Секция 1. ЯДЕРНАЯ, ТЕПЛОВАЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.311.22

### ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОФИЛЬНЫХ ВИТЫХ ТРУБОК НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕТЕВОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ

А.А. Аверьянова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

annaannaaver@gmail.com

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

В данной статье приводится теплогидравлический расчет сетевого подогревателя с профильными витыми трубками (ПВТ), а также анализ влияния конструктивных параметров ПВТ на характеристики подогревателя.

**Ключевые слова:** сетевой подогреватель, профильные витые трубки, недогрев, коэффициент теплопередачи, гидравлическое сопротивление.

В сетевых подогревателях осуществляется процесс нагрева сетевой воды за счет конденсации отработавшего пара турбины и ее отпуск в тепловую сеть для удовлетворения тепловой нагрузки потребителя.

С целью повышения удельных показателей, как сетевого подогревателя, так и турбоустановки в целом применяют различные конструктивные решения и условия эксплуатации.

Одним из наиболее перспективных способов повышения эффективности работы теплообменника является применение различных профилированных и оребренных трубок [1]. Наибольшее применение в эксплуатации нашли именно профильные витые трубки (рис. 1) [2]. ПВТ имеют следующие основные параметры:  $h$  – глубина канавки ПВТ,  $s$  – шаг между соседними канавками ПВТ.

С целью определения влияния параметра  $h/s$  на характеристики сетевого подогревателя, автором был произведен теплогидравлический расчет ПСГ-1300-3-8-I для гладких трубок и ПВТ при различном соотношении глубины накатки и шагом между соседними канавками [3].

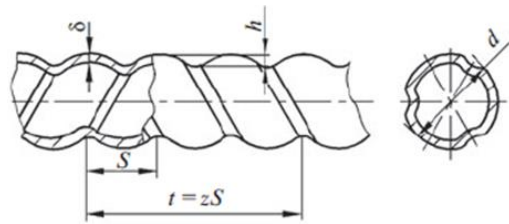


Рис. 1. Поперечное сечение профильных витых трубок

На рис. 2. показаны результаты расчетов изменения относительных коэффициентов теплопередачи ( $K^*$  – отношение коэффициентов теплопередачи для теплообменника с ПВТ и гладкими трубками) и гидравлического сопротивления ПСГ ( $\Delta H^*$  – отношение гидравлического сопротивления теплообменника с ПВТ и гладкими трубками). В качестве критерия, обосновывающего выбор параметров профилирования трубок, взято отношение ( $\Delta H^*/K^*$ ). Как видно из рисунка, исследуемый критерий имеет оптимум в диапазоне значений параметра  $h/s$  – 0,05...0,07. Можем сделать вывод, что профильные витые трубки с такими конструктивными характеристиками будут иметь высокие экономические показатели.

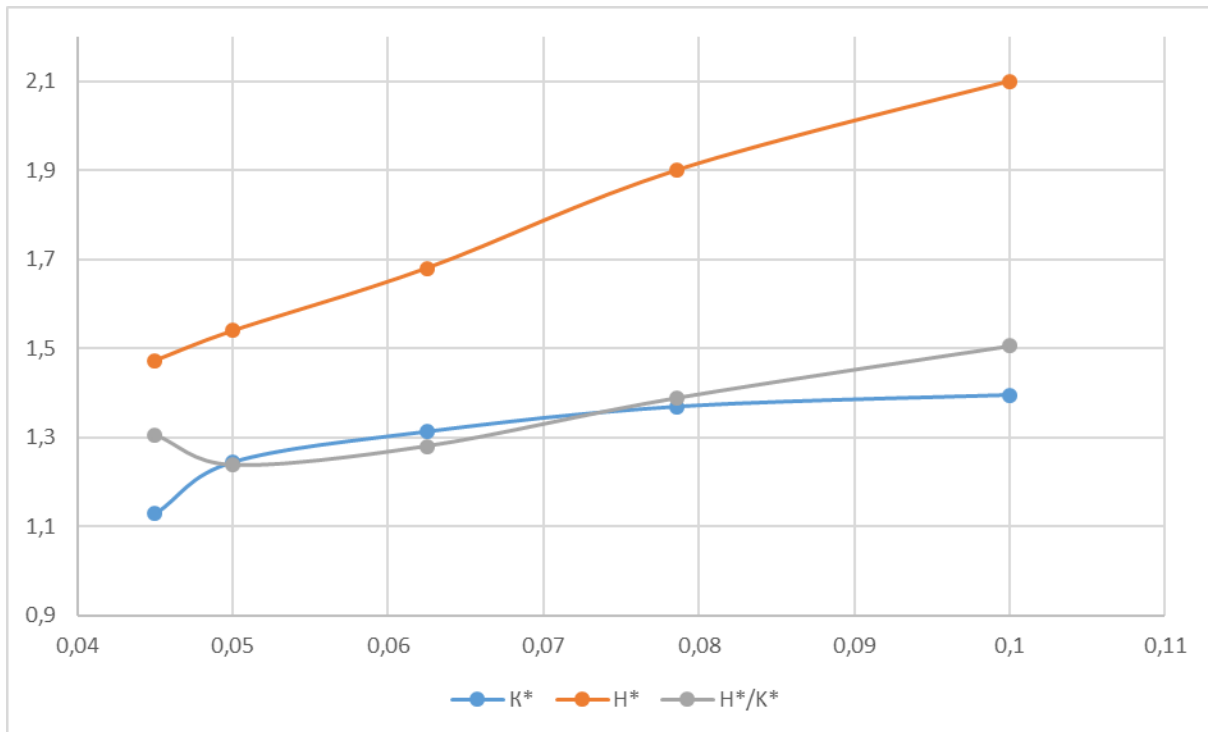


Рис. 2. Изменение относительных коэффициентов теплопередачи и гидравлического сопротивления

Опираясь на полученные данные, можно сделать заключение, что использование профильных витых трубок вместо гладких в теплообменнике позволяет увеличить коэффициент теплопередачи. Гидравлическое сопротивление также увеличивается, что приводит к возрастанию необходимой мощности на прокачку теплоносителя и затратам на собственные нужды электростанции. Конструктивные параметры ПВТ влияют на тепловые и гидравлические характеристики подогревателя, наиболее выгодное соотношение  $h/s$  находится в диапазоне 0,05–0,07.

### Источники

1. Бродов Ю.М., Аронсон К.Э., Рябчиков А.Ю., Блинков С.Н., Купцов В.К., Мурманский И.Б.. Повышение эффективности теплообменных аппаратов паротурбинных установок за счет применения профильных витых трубок // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. № 7-8. С.72-78.

2. Бродов Ю.М., Аронсон К.Э., Рябчиков А.Ю., Ниренштейн М.А. Справочник по теплообменным аппаратам паротурбинных установок. М.: Издат. дом МЭИ, 2016. 480 с.

3. Назмеев Ю.Г., Лавыгин В.М. Теплообменные аппараты ТЭС. М.: Энергоатомиздат, 1998. 287 с.

УДК 628.164

## АНАЛИЗ ОСТАТОЧНОГО СОДЕРЖАНИЯ ИОНОВ НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ В ТЕПЛОНОСИТЕЛЕ ДЛЯ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ В ЖКХ

Г.И. Акберова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

akberova99@bk.ru

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

В статье представлены результаты измерения общей, кальциевой и магниевой жёсткости теплоносителя титриметрическим методом. Жёсткость воды является одним из основополагающих показателей, которые влияют на применение воды в различных отраслях.

**Ключевые слова:** гидроксид магния, карбонат кальция, комплексонометрический метод, атомная спектрометрия.

Причиной поломок теплообменного оборудования в 90 % случаев является образование накипи на поверхности. Накипь – это ни что иное как соли кальция и магния, которые повсеместно встречаются в воде [1].

На нагревательных элементах причиной образования накипи является большое количество растворённых в воде солей магния и кальция. Чем больше концентрации этих солей, тем больше жёсткость воды. Существуют несколько классификаций вод исходя из присутствия солей жёсткости: сильно жёсткая, жёсткая, средняя и мягкая вода. В средней полосе Поволжья встречаются воды средней жёсткости.

При всем многообразии компонентов входящих в состав накипи, по химическому составу преимущественно встречается накипь карбонатная, сульфатная и силикатная, название образовывается по преобладающему иону [2].

Состав накипи может быть разным, но основными элементами, входящими в состав это – нерастворимый карбонат кальция, карбонат магния, основной карбонат магния и гидроксид магния. Процентное соотношение данных компонентов может быть различно, учитывая изначальный качественный и количественный состав исходной воды. Накипь может наслаиваться в системе отопления с водяным теплоносителем и в незамерзающем растворе с добавлением воды (использование антифриза неправильно), в свою очередь это создает существенные проблемы при эксплуатации [3].

По правилам и нормам в домах (многоквартирных), на предприятиях и в других отапливаемых объектах используется вода, как теплоноситель, должна обладать определенным показателем по содержанию накипиобразователей [4].

Лабораторные методы определения жёсткости воды сводятся к использованию комплексометрического метода (метод 1) и метода атомной спектроскопии (методы 2 и 3).

Метод 1 наиболее часто применим, учитывая простоту опыта и его сходимости. Комплексометрическое титрование ориентировано на изменение окраски индикатора в результате добавки титранта.

Метод 2 применяется, чтобы определить массовую концентрацию ионов кальция и магния.

Метод 3 является арбитражным по отношению к другим методам определения жёсткости [5].

## Результаты измерения общей, кальциевой и магниевой жёсткости теплоносителя

Наименование теплоносителя	Общая жёсткость (мг-экв./л)	Кальциевая жёсткость (мг-экв./л)	Магниева жёсткость (мг-экв./л)
Теплоноситель из радиатора, Московский район, г. Казань	8	2,8	5,2
	8	2,5	5,5
	8	2,55	5,45

Определили согласно стандартным методикам общую жёсткость, кальциевую и магниевую. Титриметрический метод сводился к определению общей и кальциевой жёсткости. Магниевую жёсткость определили как разность общей жёсткости и кальциевой жёсткости. В таблице показаны результаты.

Согласно полученным лабораторным данным видно, что в теплоносителе остается содержание магния и кальция. Такой концентрации достаточно для инициирования появления осадка на стенках оборудования, на стенках водопроводной и отопительных систем. При прогнозировании последствий при длительном использовании теплоносителя с данными характеристиками нарастают известковые отложения, уменьшающие напор, и возникает необходимость замены труб, увеличивает расход тепла на нагревание. Поэтому при подготовке теплоносителя необходимо более тщательно контролировать показатели жёсткости.

### Источники

1. Кристиан А.Г., Аналитическая химия // БИНОМ. 2019. №4. С. 52-55.
2. Шварценбах Г.И., Флашка Г.И. Комплексометрическое титрование // Химия. 2017. №1. С. 66-70.
3. Скуг Д.М., Уэст Д.Р. Основы аналитической химии; пер. с англ. Е.Н. Дороховой, Г.В. Прохоровой; под ред. Ю.А. Золотова. М.: Мир, 1979.
4. Ротов П.В., Сивухин А.А., Ротова М.А., Гафуров Р.А., Горшков А.В. Об эффективности управления циркуляцией горячей воды // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. №6. С. 117-129.
5. Запольская И.Н. Влияние индивидуальных водо-водяных подогревателей на потребление тепловой энергии многоквартирными домами // Вестник КГЭУ. 2021. Т. 13. № 3. С. 15-24.



## ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ КАЧЕСТВА ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ ОТ НОРМАТИВА ПО ЗАПАХУ

А.Т. Ахметзянова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

19aigul@gmail.com

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

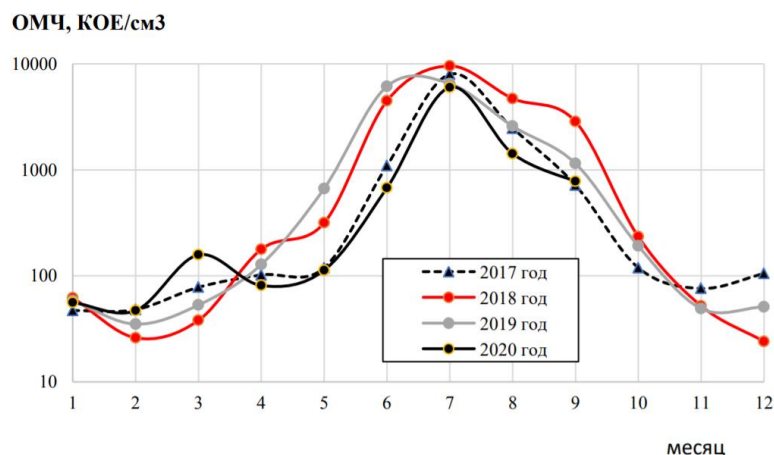
В данной статье приведены результаты анализа воды по выбранным точкам отбора в Автозаводском районе г. Нижний Новгород, в связи с возникновением ухудшения качества горячего водоснабжения.

**Ключевые слова:** анализ воды, горячее водоснабжение, химический состав, органические загрязнения, биозагрязнения.

В Автозаводском районе г. Нижний Новгород с 2018 года обострилась проблема с качеством воды горячего водоснабжения (ГВС). В разных микрорайонах отмечено резкое ухудшение качества горячей воды, появилось много жалоб от потребителей. Задача состоит в определении ситуации и истории ее развития. Необходимо сделать анализ проб воды на химический состав, загрязнения органическими веществами и биозагрязнениями и установить источник и причины появления неприятного запаха ГВС.

Водоисточник для питьевой воды, которая поступает в сети водоснабжения Автозаводского района, в том числе и на горячее водоснабжение это – река Ока. Вода реки Ока относится к классу гидрокарбонатных групп кальциевых, по составу и общему солесодержанию похожа на воду реки Волга в среднем течении. Отличается несколько большим содержанием загрязняющих веществ – микробиологических, взвешенных веществ (ВВ) (мутность), железа, соединений азота. Загрязненность меняется по сезонам года и увеличивается в периоды половодья, летом и в паводки. Особенно это касается микробиологического загрязнения [1].

На рисунке видно, что с апреля-мая общее микробное число (ОМЧ) в воде возрастает в сотни раз, достигая максимума в летние месяцы – с июля до сентября. Данные указывают на систематическое сезонное ухудшение качества исходной речной воды, особенно по микробиологическим показателям, начиная с весеннего половодья и на весь летний период. На станции водоочистки уровень всех видов загрязнений в подготовленной воде доводят до нормативных значений, но не нулевых. В очищенной воде ОМЧ 1-4 КОЕ/см<sup>3</sup>.



ОМЧ в воде р. Ока в месте водозабора Автозаводской водоочистной станции

### Результаты химического анализа проб воды

№	Адрес	УЭП, мкСм/см	ОСС, г/л	рН	СГ, мг/л	ПО, мгО/л	А (200)	Fe, мг/л	NH <sub>3</sub> , мг/л
1	Исходная вода, р. Ока, насосная первого подъема ООО «Заводские сети»	0,63	0,33	8,25	33,7	14,2	1,54	0,260	0,025
2	ООО «Заводские сети», насосная 2 подъема	0,47	0,23	7,04	23	4,2	1,05	0,203	1,09
3	Вход на ООО «Автозаводская ТЭЦ»	0,46	0,23	7,14	23	4,2	1,21	0,225	0,08
4	Выход с ООО «Автозаводская ТЭЦ»	0,45	0,23	7,41	23	4,2	1	0,233	0,14
5	ул. Строкина, д. 12	0,48	0,24	7,78	25,5	4,2	0,65	0,063	0,875
6	ул. Раевского, д. 17	0,5	0,25	8,21	23	3,9	0,64	0,243	0,787
7	пр. Кирова, д. 31а	0,46	0,23	7,67	25,5	4,5	0,69	0,032	0,32
8	ул. Мончегорская, д. 18/1	0,46	0,23	8,31	25,5	4,64	0,565	0,043	0,333

Пробы воды отбирались одновременно в заранее выбранных и согласованных точках [2]. Принцип выбора точек отбора проб – весь путь движения воды от водоисточника до потребителя. При этом основное внимание уделялось установлению причины различий по запаху и цвету воды в «проблемных» и «непроблемных» домах [3].

Анализ проб воды на химический и бактериальный составы проводился в аттестованной лаборатории КГЭУ сразу после доставки проб (см. таблицу).

При вскрытии магистральных трубопроводов на внутренней поверхности наблюдали слизь толщиной 1 см при диаметре трубы 50 см [4]. Наличие слоя слизи на внутренней поверхности труб указывает на ее биогенный характер (бактерии и продукты их жизнедеятельности). В бескислородных условиях при повышенной температуре и наличии питания некоторые виды бактерий активно размножаются. Поэтому запах имеет именно горячая вода.

По результатам химического анализа воды можно сделать выводы, что все показатели воды в пределах ПДК (предельно-допустимая концентрация). Не постоянен показатель рН воды и концентрация аммиака возрастает многократно, этот уровень (около 1 мг/л) сохраняется в воде сети ГВС. Соединения аммония (аммиак) накапливаются в системе городского водопровода. Дозирование аммиака должно быть сокращено.

### **Источники**

1. Водоподготовка: справочник; под ред. С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. 240 с.
2. Ротов П.В., Сивухин А.А., Ротова М.А., Гафуров Р.А., Горшков А.В. Об эффективности управления циркуляцией горячей воды // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. №22(6). С. 117-129.
3. ГОСТ Р 57164-2016 «Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности».
4. Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Смирнов А.Ю., Гиниятуллин Б.А., Матвеев Д.Ю. Исследование состава и структуры отложений с внутренней поверхности трубопроводов теплосети города Набережные Челны // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2011. №3-4. С. 60-65.

## УСТАНОВКА ВОЗДУШНОГО РИФОРМИНГА МЕТАНА ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

В.А. Бобровский<sup>1</sup>, Ф.А. Шайхатдинов<sup>2</sup>, Д.А. Агарков<sup>3</sup>, А.В. Самойлов<sup>4</sup>, С.И. Бредихин<sup>5</sup>  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, <sup>3,4,5</sup>ИФТТ РАН, г. Черноголовка

<sup>1</sup>BobrovskiyVA@kamaz.ru, <sup>2</sup>Farid.Shaihatdinov@kamaz.ru, <sup>3</sup>Agarkov@issp.ac.ru,

<sup>4</sup>Samoilov@issp.ac.ru, <sup>5</sup>Bredikh@issp.ac.ru

Науч. рук. канд. мед. наук, доц. А.А. Филимонова

В настоящей работе рассмотрено влияние параметров работы установки воздушного риформинга метана в составе энергетической установки транспортного средства на твердооксидных топливных элементах (ТОТЭ). В работе были интерпретированы результаты испытаний установки риформинга и приведены выводы о практической ценности и перспективах применения устройства.

**Ключевые слова:** топливные элементы, твердооксидные топливные элементы, синтез-газ, установка риформинга, энергетическая установка, транспортное средство.

В настоящее время одним из трендов развития автомобильного транспорта является переход к электрическим силовым установкам. Основное ограничение развития данной технологии – низкий пробег электрических автомобилей по сравнению с пробегом традиционных транспортных средств с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) на одном баке топлива. Один из методов решения указанной задачи – установка расширителей пробега, позволяющих заряжать аккумуляторы непосредственно во время движения, тем самым значительно увеличивая пробег между зарядками. Энергетическая установка (ЭУ) транспортного средства на топливных элементах позволяет увеличить его пробег до 1000 км, в отличие от классического электрического автомобиля, для которого пробег составляет около 300 км. Из пяти известных типов топливных элементов (трех низкотемпературных: щелочных, полимерных и фосфорнокислых, а также двух высокотемпературных: твердооксидных и расплав-карбонатных) на транспорте применяются твердооксидные и твердополимерные [1]. При этом с точки зрения эффективности твердооксидные обладают лучшим показателем коэффициента полезного действия, способностью работать не только на водороде, но и на синтез-газе (смеси водорода и монооксида углерода), что экономически более выгодно, чем водород по причине существенно большей инфраструктурной доступности углеводородов [2, 3].

Для питания батарей топливных элементов необходимо осуществить процесс конверсии исходного углеводородного топлива в синтез-газ – смесь монооксида углерода и водорода. Существуют два основных вида конверсии: паровая конверсия и воздушная конверсия. Основными достоинствами паровой конверсии являются: высокое содержание водорода в продуктах реакции, легче избегать закоксовывания катализатора. Но при этом процесс обладает следующими недостатками: необходим подвод воды и тепла, медленный запуск. Основными достоинствами процесса воздушной конверсии являются: компактность, быстрый запуск, использование кислорода воздуха в качестве окислителя. Недостатки: разбавление топлива азотом, локальные перегревы катализатора, коксообразование. Таким образом, процесс воздушной конверсии выглядит более перспективным для транспортного применения. При этом на общую эффективность энергоустановки оказывают влияние следующие параметры установки риформинга:

- рабочая температура: высокая рабочая температура установки воздушного риформинга позволяет напрямую стыковать его со стеклом топливных элементов, однако необходимо избегать локального перегрева на входе в установку риформинга – это может привести к спеканию катализатора и сокращению времени работы установки риформинга;

- коэффициент избытка воздуха ( $\alpha$ ): регулировка коэффициента избытка воздуха позволяет проводить процесс воздушной конверсии в области, где отсутствует сажеобразование, что позволяет избежать ускоренной деградации стека.

При таких рабочих параметрах, как давление потока метана 20 бар, рабочей температуре процесса риформинга от 400 до 1100 °С, расходу газа 9000 нл/ч, температуре газа от 10 до 30 °С и расчетной симуляции процесса была выбрана конструкция установки воздушного риформинга автомобильного исполнения из нержавеющей стали EN 1.4835 с нанесенным каталитическим покрытием R44;

В объеме стендовых испытаний были запланированы пять целей:

- испытания эксплуатационных характеристик в пределах номинального рабочего диапазона;

- испытания среднего времени пребывания метана на коэффициент его преобразования;

- тестирование каталитической активности при нагреве и охлаждении;

- проверка чувствительности коэффициента преобразования в отношении пониженного соотношения пара и углерода;

- испытание чувствительности коэффициента преобразования в отношении пониженного соотношения кислорода и углерода.

Результаты испытаний показывают, что эксплуатационные характеристики установки риформинга и состав риформированного газа для различных условий оптимальны и стабильны. Каталитическая активность для процесса риформинга метана начинается при температуре более 300 °С. Кратковременный рабочий процесс с пониженным соотношением пар/углерод и кислород/углерод не снижает каталитическую активность процесса риформинга.

Таким образом, объем выполненных работ и полученные результаты дают основание к продолжению исследовательских испытаний в составе энергоустановки на транспортном средстве.

### **Источники**

1. Сайданов В.О., Ландграф И.К., Касаткин М.А. Энергетические установки на основе топливных элементов // Двигателестроение. 2018. № 1(271). С. 27-29.

2. Яковенко Р.Е., Ильин В.Б., Савостьянов А.П. Получение водородсодержащего газа для питания твердооксидных топливных элементов риформингом синтетического дизельного топлива // Электрохимия органических соединений. ЭХОС-2018: тез. докл. XIX Всерос. совещания с межд. участием. Новочеркасск: «НОК», 2018. С. 149-150.

3. Смородова О.В., Китаев С.В., Ерилин И.С. К проблемам использования природного газа в качестве топлива для твердооксидных топливных элементов // Norwegian Journal of Development of the International Science. 2018. № 17-1. С. 51-54.

УДК 621.22-225

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ АКТИВНОСТИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СТРУКТУРЕ ЖКХ**

А.М. Варганова<sup>1</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>linavrgnv@gmail.com, <sup>2</sup>vlasovaay@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Ю. Власова<sup>2</sup>

В статье рассмотрена проблема образования коррозии и коррозионных отложений в структуре ЖКХ. Представлены результаты определения коррозионной активности теплоносителя в системе теплоснабжения в городе Казань.

**Ключевые слова:** коррозионная активность, теплоноситель, тепловая сеть, внутренняя коррозия, коррозиметр.

В энергетике ЖКХ при эксплуатации оборудования и тепловых сетей существенную роль играет их коррозионная стойкость, другими словами, способность металла трубопровода сопротивляться коррозионному воздействию среды. Срок службы, надежность, затраты на обслуживание инженерных систем в значительной степени определяются их защитой от коррозии, предусмотренной при проектировании этих объектов и реализуемой в процессе их эксплуатации [1].

Образование коррозии и коррозионных отложений на стенках трубопроводов ведет к снижению коэффициента теплопередачи, эффективности теплообмена, существенным потерям тепловой энергии, что негативно сказывается на размерах платежей за ЖКХ. Коррозия металлов ежегодно приводит к многомиллионным экономическим потерям, причем чем выше степень коррозии, тем больше убытки потребителей тепловой энергии и государства. По результатам исследований World Corrosion Organization (Всемирной организации по борьбе с коррозией) ежегодные прямые убытки от коррозии во всем мире составляют 1,8–2,5 трлн долл. США или 3–4 % ВВП промышленно развитых стран [2].

Коррозионный отказ трубопровода чаще всего связан с совместным действием процессов наружной и внутренней коррозии. Тепловые сети подвергаются наружной коррозии при непосредственном контакте поверхности трубопровода с грунтом или водой, а внутренней коррозии в случае агрессивных коррозионных свойств самой транспортируемой водной среды [3].

Коррозионная активность воды независимо от источника водоснабжения характеризуется тремя основными показателями: содержанием растворенного кислорода; суммарной концентрацией хлоридов и сульфатов; индексом равновесного насыщения воды карбонатом кальция. При отсутствии условий образования защитных карбонатных пленок на металле трубопровода кислород обычно выступает как катодный деполяризатор, а его высокие концентрации приводят к усилению процесса коррозии. Следовательно, при определении коррозионной активности подогретой водопроводной воды необходимо учитывать совместное воздействие растворенного кислорода и углекислых соединений [4].

Определение коррозионной активности теплоносителя проводили при помощи универсального коррозиметра «Эксперт-004» по двухэлектродной схеме. Преимущество данного прибора заключается в измерении значений одного или нескольких параметров через заданные промежутки времени с последующей записью данных в электронный блокнот в автоматическом режиме.

Поверхность цилиндрических электродов для коррозионных испытаний предварительно отшлифовали новой наждачной бумагой, обезжирили электроды этиловым спиртом и подсушили. Для проведения измерений на каждый из двухэлектродных измерительных датчиков навинтили по два одинаковых цилиндрических стальных электрода, у которых длина 40 мм, диаметр 6 мм, резьба М3 глубиной 12 мм. Площадь электрода при таких его габаритах составляет 7,8 см<sup>2</sup>. Для закручивания и раскручивания электродов на резьбовые шпильки измерительного датчика использовали мягкую пластиковую трубку, чтобы предохранить поверхность от механических повреждений. Во избежание протекания щелевой коррозии электроды в процессе испытания плотно прилегают к тефлоновой поверхности измерительных датчиков и полностью погружены в жидкость (ниже ватерлинии).

Двухэлектродный измерительный датчик со стальными электродами поместили в коррозионную среду на определенное время для получения стабильных показаний. Время стабилизации показаний зависит от коррозионной агрессивности среды, температуры, скорости потока, материала электродов и выполняемых задач.

В первые минуты наблюдений значение показателя сплошной коррозии изменялось. После 8 часов непрерывной работы показатель стабилизировался на величине 237,9 мкм/год, которая не изменялась еще 24 часа. Текущие значения поляризации электродов и тока измеряемых параметров при этом составили соответственно 18,6 мВ и 55,9 мкА.

В таблице приведена примерная оценка результатов использования коррозиметра «Эксперт-004», в соответствии с Руководством по эксплуатации КТЖГ.421590 РЭ.

Результаты измерений коррозиметра «Эксперт-004»

Общая коррозия	Питтинг	Оценка результатов
Высокая (250 мкм/год)	Низкий (25 мкм/год)	Равномерная коррозия почти без питтинга
Средняя (125 мкм/год)	Средний (125 мкм/год)	Практически равномерная коррозия с небольшим питтингом.
Низкая (25 мкм/год)	Высокий (250 мкм/год)	Сильный питтинг при небольшой скорости общей коррозии

Таким образом, для стали Ст.3 в коррозионной среде были получены величины показателей сплошной коррозии 237,9 мкм/год, с пересчетом 0,2379 мм/год; 0,2117 г/м<sup>2</sup>·ч; 5,091 г/м<sup>2</sup>·сут. Для получения стабильных показаний потребовалось 8 часов непрерывной работы.



Выводы: в настоящее время осуществляется современное диагностирование теплоносителя и трубопроводов, которое предполагает устранение повреждений при выявлении дефектов и своевременную чистку отложений, что позволяет предотвратить аварийные ситуации, снизить риск порчи оборудования и инженерных систем, тем самым сокращая материальные затраты.

### **Источники**

1. Киселев В.Г. Диэлектрические покрытия и их влияние на защиту от коррозии наружной поверхности подземных трубопроводов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. 20 (1-2). С. 80-89.

2. Гумаров Г.С. Анतिकоррозионная защита сельскохозяйственной техники – первоочередная задача // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники. Саратов, 2020. С. 51-55.

3. Гарнышова Е.В., Измайлова Е.В., Чикунова Е.В. Диагностирование коррозионных отложений в трубопроводах // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация». Казань, 2021. Т. 2. С. 104-107.

4. Запольская И.Н., Ваньков Ю.В, Зиганшин Ш. Г., Валеев А.Ф., Зверев О.И. Повышение эффективности систем ГВС установкой автоматизированных ИТП // Вестник КГЭУ. 2017. № 4 (36). С. 54-64.

УДК 543.272.2

## **УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА В ВОЗДУХЕ**

Ф.Р. Гайнутдинов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ebkkk@yandex.ru

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. Д.Ф. Гайнутдинова

В статье рассмотрены различные типы газоанализаторов, применяемые для измерения концентрации водорода в воздухе, источники инициации аварийной ситуации при использовании водорода.

**Ключевые слова:** термokatалитические газоанализаторы, электрохимические детекторы, оптические газоанализаторы, меры обеспечения водородной безопасности.

Мерой обеспечения водородной безопасности является измерение и контроль концентраций водорода в воздухе, исключение вероятности воспламенения и смешения водорода с кислородом воздуха (табл. 1) [1].

Таблица 1

Диапазон взрыво- и пожароопасности смесей водорода с кислородом и воздухом

Смеси	Нижний предел, % H <sub>2</sub> по объему		Верхний предел, % H <sub>2</sub> по объему	
	Воспламенение	Детонация	Воспламенение	Детонация
H <sub>2</sub> -O <sub>2</sub>	4,6	15	94	90
H <sub>2</sub> -воздух	4,1	18,3	74,2	59

К приборам, контролирующим содержание водорода, относятся непосредственно газоанализаторы и сигнализаторы (устройства аварийной сигнализации), а также индикаторные точечные датчики газов. В практике контроля содержания водорода в воздухе используются различные типы газоанализаторов, основанные на различных физических и химических свойствах водорода и газоанализаторы различного назначения (стационарные, переносные).

В едином государственном реестре средств измерения зарегистрировано 168 производителей газоаналитического оборудования, из них 104 российских производителей. Мировыми лидерами по производству газоаналитической техники являются BW Technologies, Drager, MSA Auer, OLDHAM, Testo [2]. В табл. 2 приведены устройства, контролирующие концентрацию водорода российского производства.

Наиболее перспективными газоанализаторами, обеспечивающими безопасную эксплуатацию водородных систем, являются комбинированные модификации, работающие на основе термokatалитических, электрохимических и оптических датчиков. Данные приборы имеют средний диапазон стоимости, оптимальные показатели эффективности [3].

Для определения содержания водорода применяются так же газовые хроматографы. В отличие от газоанализаторов в хроматографах происходит разделение газовой смеси на компоненты.

Таблица 2

## Типы устройств, контролирующих содержание водорода

Тип устройства	Измеряемые физико-химические свойства (принцип действия)	Марки отечественных устройств для определения концентрации $H_2$	Диапазон стоимости; показатели эффективности
Термокаталитические (термохимические)	Теплота выделяемая при окислении $H_2$ на катализаторах металлов Pt-группы	ОКА-М; Хоббит-Т; Лидер-02; сигнализаторы: ДАТ-М, СГГ-20Микро	низкий; диапазон измерения: 0,0-0,4 об. %
Полупроводниковые	Изменение проводимости газо-чувствительного полупроводникового слоя ( $SnO_2$ с добавками) при химической сорбции водорода на поверхности полупроводника	ФП-22 (точескатель); полупроводниковый датчик водорода Бинар-1Д-8	низкий; высокая погрешность измерений: 0-2 об. %
Электрохимические (термокондуктометрические)	Измерение путем прохождения электрического тока через растворы электролитов, контактирующие с анализируемым газом	ИГС-98Верба-Д; МИКРОСЕНС; Сигма ЕХ, стационарные газоанализаторы водорода ГТВ-1101	средний; диапазон измерений: 0-3,2 об. %
Оптические	Основаны на способности молекул газов избирательно поглощать инфракрасное излучение	ИГМ-12-34-Х; Гамма-100, стационарный газоанализатор ГАНК-4	выше среднего; диапазон измерений: 0-2 об. %

Довзрывоопасная концентрация водорода в воздухе, должна быть обнаружена как можно раньше. Актуальной задачей остается модификация и разработка быстродействующих автоматических газоанализаторов для определения концентрации водорода при его натекании в свободные объемы. Объемная доля водорода в зонах его возможного выделения не должна превышать 0,4 % [4]. Источниками инициации аварийной ситуации при использовании водорода являются открытое пламя или искры, ударные волны в газах, жидкостях или твердых телах, трения или удары, тепло химических реакций. Основная опасность в процессе эксплуатации водородного оборудования – разгерметизация аппаратов под давлением, что требует наличие эффективных систем взрывозащиты, огнепреградителей, гидрозаторов, устройств сброса давления. На основании опыта работы с водородом составлены общие требования охраны труда, обеспечивающие безопасную эксплуатацию водородных систем [5].

Таким образом, разработка датчиков водорода с улучшенными характеристиками является активно развивающимся направлением современной науки, вследствие сложившегося растущего спроса, инфицированным бурно развивающейся водородной энергетикой.

### **Источники**

1. Коробцев С.В., Фатеев В.Н., Самсонов Р.О., Козлов С.И. Безопасность водородной энергетике // Транспорт на альтернативном топливе. 2008. Т.6. № 6. С. 70-75

2. Гусев А.Л., Золотухин И.В., Калинин Ю.Е., Ситников А.В. Датчики водорода и водородосодержащих молекул // Альтернативная энергетика и экология. 2005. Т.25, № 5. С. 23-28.

3. Добровольский Ю.А., Левченко А.В., Леонова Л.С. Электрохимические сенсоры для анализа водорода в воздухе // Альтернативная энергетика и экология. 2008. Т. 58, № 2. С. 71-77.

4. Добровольский Ю.А., Леонова Л.С., Укше А.Е., Левченко А.В., Баранов А.М., Васильев А.А. Портативные сенсоры для анализа водорода // Российский химический журнал. 2006. Т. 1, №6. С. 120-127.

5. Белобородов С.С., Гашо Е.Г., Ненашев А.В. Возобновляемые источники энергии и водород в энергосистеме: проблемы и преимущества: монография. СПб.: Научное издание, 2021. 151 с.

УДК 621.22-225

## **АНАЛИЗ ОТЛОЖЕНИЙ КАРБОНАТНОГО ТИПА В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ**

Е.В. Дмитриева<sup>1</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>99dmitrieva99@mail.ru, <sup>2</sup>vlasovaay@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Ю. Власова<sup>2</sup>

В статье рассмотрены виды отложений в тепловых сетях. Подробнее рассмотрена тема отложений карбонатного типа, его характер и ряд потерь, которые они вызывают.

**Ключевые слова:** карбонатные отложения, потери, тепловые сети, коррозия.

В жилищно-коммунальное хозяйство входят отрасли сферы услуг, которые обеспечивают комфортное условие для жизни человека. В систему теплоснабжения входит оборудования по выработке тепловой энергии, ее транспортировке, приборы для отопления, магистральные и внутридомовые тепловые сети. Задачи системы теплоснабжения велики, одними из главных являются обеспечение стандартов теплосистемы для комфортных условий проживания, экономное расходование ресурсов, сокращение производственных затрат на выработку и поставку тепловой энергии за счет внедрения новых технологий, ликвидация непроизводительных потерь.

Основные потери в тепловой сети связаны с различными отложениями на внутренних поверхностях трубопроводных систем. Свойства этих отложений зависят от природы воды и ее движения. Их появление сужает сечение трубопровода, снижая пропускную способность и ухудшая гидродинамический режим тепловых сетей. По технологии изготовления трубопроводов абсолютная шероховатость внутренней поверхности труб для большинства используемых стальных труб находится в пределах 0,05–2 мм [2]. В разводящих трубах ГВС встречаются отложения, которые состоят из продуктов коррозии конструкционных материалов.

На магистральных подающих и обратных трубопроводах с большим расходом воды (80–100 м/мин) преобладают отложения оксидов железа – продукты коррозии стали [1]. Толщина отложений может составлять от 1 до 4 мм. При этом карбонатных отложений достаточно небольшое количество. А на участках трубопроводов с несильным течением воды выявляется большое содержание солевых отложений – карбонатов, сульфатов, гидроксидов, ионов жесткости, которые становятся преобладающими [1]. В большинстве случаев солевые отложения на 70–80 % состоят из карбонатных. Они могут выглядеть как серые или коричневые слои, плотно сросшиеся с металлом, с кристаллическими и аморфными веществами, содержащимися вместе. Карбонатные отложения представляют собой рыхлую массу, которая слабо скрепляется с поверхностью металла. В ней вместе с карбонатом кальция содержатся продукты коррозии и механические взвеси. Кристаллы карбоната кальция также могут выделяться в объеме жидкости и после этого оседать на поверхности металла [2].

## Химический состав образцов низкотемпературных отложений

Место отбора отложений	Потери при прокаливании %	Химический состав (в пересчете на окислы), %						
		CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сумма окислов, %
Подогреватель ГВС ТС	44,98	49,63	3,02	1,37	0,36	1,43	–	100,79
Трубки подогревателя ГВС	36,00	25,96	3,81	23,46	6,20	0,42	–	95,85
Труба местной абонентской системы ТС	8,4	4,68	0,38	82,89	1,95	0,28	0,07	97,90

Карбонатные отложения нередко приводят к коррозионным повреждениям, вплоть до сквозных отверстий. Довольно часто встречается коррозия смешанного вида, язвенная [3]. Теоретически основным источником поступления кислорода является подпиточная вода, а также аварийные пополнения тепловой сети «сырой» водой, несоблюдение нормированных значений кислорода при вакуумной деаэрации, заборы воздуха или неочищенной «сырой» воды в воду теплосети (ТС) в местах, где давление сетевой воды может быть ниже атмосферного [1]. Эти места включают «обратный» трубопровод и участки трубопровода, находящиеся перед всасыванием бустерного насоса.

На основании этого материала можно сделать следующие выводы: основную роль в определении интенсивности карбонатного накипеобразования играет химический состав воды. Для защиты подающего магистрального трубопровода, который наиболее подвержен коррозии, используется электрохимическая защита. Следующий этап работы будет связан с ИК-спектрофотометрией, которая позволит определить компонентный состав твердых отложений и даст полное представление о проделанной работе.

### Источники

1. Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Ляпин А.И., Закиров Р.Н., Виноградов А.С. Образование отложений и коррозия на внутренней поверхности трубной системы открытой теплосети // Новости теплоснабжения. 2015. № 1 (173).

2. Основные сведения об отложениях [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://deskam.ru/stati-i-informatciya/2019-03-11/obrazovanie-otlozheniy-v-vodogreynom-oborudovanii> (дата обращения 06.03.22).

3. Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Смирнов А.Ю., Муртазин А.И., Гиниятуллин Б.А. Определение структуры и состава отложений в системе обратного охлаждения ТЭС методами химического анализа и инфракрасной спектроскопии // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2009. № 7-8. С. 37-45.

УДК 661.971

## УЛАВЛИВАНИЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ПРИ РАБОТЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Р.Ф. Камалиева  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
ruzzi@yandex.ru

Науч. рук. канд. мед. наук, доц. А.А. Филимонова

В работе изучены методы и способы улавливания углекислого газа при работе высокотемпературных топливных элементов. В ходе анализа предложен наиболее эффективный способ улавливания.

**Ключевые слова:** высокотемпературные топливные элементы, углекислый газ, методы и способы улавливания.

Выбросы парниковых газов, производимые энергоустановками, являются причиной изменения климата. Эффективным подходом к ограничению такого рода выбросов является принятие современных технологий улавливания оксида углерода, а также использование топливных элементов. Таким образом, можно сократить выбросы углекислого газа в атмосферу на 90 %.

Топливные элементы из расплавленного карбоната работают за счет пропускания через катод топливного газа. Они работают в диапазоне 600–700 °С [1]. Высокие температуры позволяют увеличить проводимость карбонатного электролита и исключают использование катализаторов из благородных металлов для процессов электрохимического окисления и восстановления.

В настоящее время большое внимание уделяется высокотемпературным твердооксидным топливным элементам. Они имеют самую высокую рабочую температуру, которая варьируется от 800 до 1000°C [2], что позволяет использовать в работе различные типы топлива без специальной предварительной обработки. Такие высокие температуры обосновываются применением стабилизированного оксидом иттрия диоксида циркония в качестве кислородопроводящего электролита. Их особенностью является отсутствие жидкой фазы и благородных металлов. А среди достоинств важное значение имеет высокий КПД по электрической энергии даже для установок с малыми мощностями.

Продукт выброса при работе топливных элементов, при условии использования абсолютно чистого водорода, – водяной пар. Однако, как было сказано выше, в качестве рабочего тела используют не только водород с примесями, а даже природный газ и уголь, следовательно, возможно выделения большого количества  $\text{CO}_2$ , который необходимо улавливать. Рассмотрим методы и способы улавливания углекислого газа, которые могут быть использованы при работе топливного элемента.

Первый способ удаления  $\text{CO}_2$  основан на поташной очистке с применением аминов. Поташная очистка состоит из двух основных стадий: сорбция углекислого газа поташным раствором и десорбция  $\text{CO}_2$ , поглощенного абсорбентом [3]. Среди абсорбентов выделяют водные карбонатные растворы, активированные добавками алканоламинов и (или) полиаминов. Вещества аминовой и алканоламиновой природы применяются в качестве агентов для улучшения процессов поташной очистки газового потока. Данный способ включает стадии, на которых: предоставляют газовый поток, содержащий  $\text{CO}_2$ ; предоставляют поток абсорбента; приводят их в контакт в условиях, достаточных для обеспечения абсорбции  $\text{CO}_2$ ; разделяют очищенный газовый поток и поток абсорбента, насыщенного  $\text{CO}_2$ ; осуществляют регенерацию абсорбента посредством десорбции  $\text{CO}_2$  [3].

Второй способ включает в себя мокрую очистку. Среди основных стадий выделяют: подача потока загрязненного воздуха (газа) и жидкого сорбента в осевом направлении на проницаемую торцевую поверхность вращающегося пористого тела; в пористом теле диска происходит перемешивание и физико-химическое взаимодействие загрязненного воздуха (газа) с сорбентом; в пространстве между диском и корпусом воздухоочистителя происходит дополнительное поглощение газов мелкораспыленным сорбентом с выбранными селективными характеристиками; отдельный вывод очищенного воздуха и жидких отходов очистки [4].



Если рассматривать адсорбционный способ очистки, то адсорбенты, применяемые для улавливания  $\text{CO}_2$ , должны иметь большую адсорбционную способность при поглощении компонентов при их небольших концентрациях в газовой смеси.

Также в последнее время совершенствуются мембранные методы, которые позволяют получить максимальную степень очистки с минимальными затратами.

На сегодняшний день эффективно использование адсорбентов. С их помощью можно улавливать как большие, так и совсем малые концентрации  $\text{CO}_2$ . Также среди преимуществ данного метода можно выделить использование дешевых абсорбентов, таких как активированный уголь, что приводит к экономичному удалению  $\text{CO}_2$ . Наиболее эффективно применение адсорбентов на основе мезопористой металлоорганической каркасной структуры, предварительно обработанной водным раствором соли цинка и подвергнутой нагреванию в атмосфере инертного газа до формирования модифицирующей добавки в виде оксида цинка при его содержании 1–1,5 г на 1 г металлоорганической каркасной структуры [5].

Однако для дальнейшей качественной утилизации углекислого газа следует применять мембранные методы его улавливания. Использование мембран из палладиевых сплавов эффективно, однако в промышленных масштабах представляет собой дорогостоящий процесс. Если рассматривать полимерные мембраны, то при их производительности, недостатком являются относительно низкие температуры, составляющие менее  $150^\circ\text{C}$ . Следует отметить, что рабочие температуры неорганических мембран из палладиевых сплавов могут достигать  $800^\circ\text{C}$ , что актуально при применении высокотемпературных топливных элементов. Поэтому следует отдать предпочтение мембранам с молекулярным ситом углерода, так как они отвечают всем необходимым требованиям: термическая стабильность, достаточно высокая проницаемость и селективность, устойчивость к высоким температурам и давлению, а также простота эксплуатации и низкие затраты.

### **Источники**

1. Modeling and characterization of molten carbonate fuel cell for electricity generation and carbon dioxide capture / Roberto Carapellucci, Roberto Cipollone, Davide Di Battista // 72nd Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association. ATI2017. Energy Procedia 126 (2017)9). 477–484.

2. Собянин В.А. Высокотемпературные твердооксидные топливные элементы и конверсия метана // Рос. хим. ж. 2003. Т. XLVII. №6.

3. Пат. 2589166 Российская Федерация, МПК В 01 D 53/00. Способ очистки газовых потоков от диоксида углерода / П.С. Лемпорт и др.; заявитель и патентообладатель Публичное акционерное общество «СИБУР Холдинг». № 2014153837/05; заявл. 30.12.14; опубл. 10.07.16, Бюл. № 19.

4. Пат. 2343960 Российская Федерация, МПК В 01 D 45/14. Способ мокрой очистки воздуха / В.К. Баев и др.; заявитель и патентообладатель Публичное акционерное общество «СИБУР Холдинг». № 2014153837/05; заявл. 30.12.14; опубл. 10.07.16, Бюл. № 19.

5. Пат. 2567634 Российская Федерация, МПК В 01 J 20/06. Адсорбент для улавливания, концентрирования и хранения диоксида углерода / Л.М. Кустов и др.; заявитель и патентообладатель ИОХ РАН. № 2014150409/05; заявл. 12.12.14; опубл. 10.03.16, Бюл. № 7.

УДК 62-622

## ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРОДА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ПРОМЫСЛЕ

М.Р. Киреев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

kimuratrob2002@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Н. Маслов

В статье рассмотрены перспективы применения водорода в энергетике. Перечислены способы его получения и использования. Описаны преимущества водородного топлива.

**Ключевые слова:** водород, газ, вода, топливо, экологичность, двигатель.

Водород – считается известным элементом в мире. Энергоемкость такого продукта больше в 2,6 раз, чем у природного газа, и более 3,3 раз, чем у нефти. В случае горения выделяется большое количество тепла и оседает вода. Основное преимущество водорода является экологичность. Известны недостатки водорода, это очень горючий газ и поэтому необходимо соблюдать повышенные меры безопасности при работе.

Все знают, что из водорода можно получать электричества. Это известно более чем на 2 века назад. М. Фарадею, работавшему с электричеством, удалось разложить воду на 2 части – водород и кислород. Он назвал процесс электролизом. Такие опыты изучил – физик Уильям Роберт Гроув. Он начал интересоваться проблемой об обратимости этого вопроса – можно ли, соединив эти газы, получить электричество. Вскоре, Гроув создал конструкцию, которую назвал «Газовая батарея». Принцип его работы заключался в следующем: платиновые электроды погружались одними концами в серную кислоту, а другими – в сосуды с водородом и кислородом. Известно, по одному контуру протекал ток, его Гроуву удалось зафиксировать с помощью гальванометра. Вот так получилась водородная энергетика [1].

Известно, что водород используется, как горючее для космических аппаратов «Шаттл и Буран». Зарубежные автомобильные концерны ведут гонку в создании водородного двигателя для машин. Сейчас нам известно 2 вида получения энергии из водорода:

1. Водород, как и любой горючий газ, можно сжигать, получая при этом тепловую энергию. Однако, при таком способе на каждом этапе генерации электричества мы теряем КПД. К тому же, процесс горения водорода очень сложно контролировать, за доли секунд высвобождается огромное количество энергии. Данное свойство ранее применялось в водородных бомбах. Поэтому, будет рациональней, если смешивать водород с другими газами для улучшения ее свойств.

2. Устройство, предложенное Гроувом, позволяет получить электричество в один шаг. На основании электрохимических свойств водорода и кислорода изобрели современные прототипы газовых батарей, называемые топливными элементами, которые сегодня широко применяются в электродвигателях. Пробег у таких автомобилей в 3 раза больше, чем у аккумуляторных. К тому же, отпадает необходимость долгой подзарядки на электрозаправках. Основным энергоносителем служит водород, который заправляется аналогично двигателям на пропане. Однако, вместо сжигания газа, в топливных элементах генерируются ток, образуя при этом воду [2].

На данный момент существуют автомобили на водороде, которые разгоняются до 200 км/ч всего за 2 секунды, и, способны проехать 700 км на одной заправке.

Водород может стать универсальным топливом, способным заменить традиционные виды топлива для всех видов потребителей: в электростанциях, в промышленных установках, в коммунальном хозяйстве, в космической отрасли и т.д. А также, за счет своей экологичности, позволит избежать проблем с парниковым эффектом.

Однако, не все так просто. Хотя и водород – самый распространенный элемент, его получение является самой сложной задачей для современных ученых. На данный момент существует 6 видов водорода: «зеленый», «желтый», «бирюзовый», «серый», «голубой», «коричневый».

1. «Зеленый» водород получают самым экологичным способом – с помощью электролиза. Однако, процесс неэкономичен, так как при его получении тратится больше электрической энергии, чем при последующем использовании. Данный вид водорода пригоден для аккумулирования энергии из возобновляемых источников.

2. Для получения «желтого» водорода применяют точно такой же метод электролиза, однако, источником энергии является атомная электростанция.

3. «Бирюзовый» водород получают с помощью пиролиза, при котором метан разлагают на водород и твердый углерод. Впоследствии, его можно применить в промышленности. Например, для создания углепластика, который отличается своей прочностью и легкостью.

4. «Серый» водород образуется при паровой конверсии метана. Отрицательной стороной данного метода является выделение углекислого газа, способного привести к глобальной климатической катастрофе.

5. «Голубой» водород аналогичен «серому». Однако, главным условием является улавливание углекислого газа с последующим его захоронением. В качестве решения данной проблемы рассматривали создание системы подземного складирования в отработанных скважинах нефтяных и газовых месторождений. Но, несмотря на простоту решения, глобальные подземные захоронения могут существенно повлиять на внутренние слои Земли.

Самым неэкологичным способом получения водорода считается «коричневый». Для исходного сырья используется бурый уголь. Далее, при помощи газификации бурого угля получают смесь углекислого газа, окиси углерода, метана, водорода и других газов, именуемый синтез-газ [3].

В перспективе, можно рассматривать «зеленый» и «желтый» водород, которые являются самыми экологичными источниками. Стоит отметить, что водород сегодня применяется как безвредный способ хранения энергии. Безопасно водород можно хранить в виде металлгидрида. Сплав никеля и лантана способен поглотить молекулы газа подобно губке. Это позволяет хранить большие запасы водорода в баллоне с минимальным давлением. Несмотря на способы получения, на сегодня водород остается самым экологичным видом топлива [4, 5].

## Источники

1. Водород. Химическая энциклопедия: в 5 т.; Кнунянц И.Л. (гл. ред.). М.: Советская энциклопедия, 1988. Т. 1: Абл–Дар. С. 400-402.
2. Канило П.М., Костенко К.В. Перспективы становления водородной энергетики и транспорта // Автомобильный транспорт (Харьков). 2008. № 23. С. 107-113.
3. Мановян А.К. Технология переработки природных энергоносителей. М.: Химия, Колос С., 2004.
4. Зайченко В.М., Шпильрайн Э.Э., Штеренберг В.Я. Водородная энергетика: Современное состояние и направления дальнейшего развития // Теплоэнергетика. 2003. № 5. С. 61-67.
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 сб.: Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Матер. IV Всерос. нац. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х частях. 2021. С. 172-175.

УДК 628.162.5

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАЗУТНЫХ ПРИСАДОК НА ТЭС В РФ

И.И. Киселёв

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ikiselev59@mail.ru

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

В данной статье мы рассмотрим перспективы применения мазутных присадок на тепловых электрических станциях. Решение данной задачи приведет к улучшению физико-химических, экологических и экономических свойств топочного мазута.

**Ключевые слова:** присадка, топочный мазут, тепловая электростанция, окислы серы.

В настоящее время мазут в РФ сжигается в небольших количествах. Всего на трех станциях мазут является основным видом топлива [1]. На многих станциях мазут является или растопочным, или резервным топливом.

От качества мазута зависят его условия транспортировки, хранения и выброс вредных веществ при его сжигании, работа основного и вспомогательного оборудования.

При переработке нефти большая часть сернистых соединений, содержащая в ней, переходит в тяжелую фракцию, который входит в состав мазута. Удаление сернистых соединений из нефтяных фракций производится путем гидроочистки, которая в конечном итоге сказывается на цене конечного полученного сырья.

В этой статье сделан обзор существующих присадок, которые влияют на свойства мазута. Мазут представляет собой сложную смесь высокомолекулярных углеводородных соединений, содержащий в себе более 40 различных микроэлементов. В процессе добычи, переработки, транспортировки и хранения в состав мазута могут попадать твердые минеральные примеси, вместе с которыми поступают соли щелочных металлов, которые в свою очередь являются продуктами коррозии трубопроводов, по которым перекачивается мазут и резервуары для его хранения.

Одним из основных требований к присадкам к мазуту является отсутствие выпадения их компонент при длительной циркуляции мазута в тракте.

При сжигании топочного мазута образуются окислы серы и азота. Несмотря на низкую зольность мазута, необходимо учитывать возможность мазутных отложений на поверхностях нагрева котлов, и особенно в регенеративных воздухоподогревателях.

Часть этих проблем может быть решена с помощью присадок, которые могут изменить эксплуатационные и физико-химических свойств топочного мазута.

В России на современном рынке представлено большое количество различных присадок, которые различаются по назначению. В основном рынок преимущественно заполнен присадками импортного производства. Это связано с тем, что в РФ топливные присадки стали использовать позже, а ряд отечественных присадок или еще не доработаны или по качеству уступают зарубежным.

В настоящее время в практике сжигания сернистых жидких топлив применяются твердые, жидкие и в некоторых случаях газообразные присадки. Присадки к топливам могут обладать антикоррозионным, депрессорным, нейтрализующим, диспергирующим, пептизирующим и эмульгирующим действием, а также могут улучшать реологические свойства топлива.

Присадки могут химически связывать  $SO_2$  и  $SO_3$ , такими свойствами обладают гидроксиды металлов, таких как кальций, магний. Также для торможения процесса окисления  $SO_2$  до  $SO_3$  в качестве присадок применяют кокс, угольную пыль, сажу. Соединения щелочноземельных металлов в качестве присадки меняют структуру золы, тем самым повышают температуру размягчения [2].

Терамин применяют как вещество, пассивирующее (образует защитную пленку) поверхность нагрева при температурах ниже точки росы, защищает металл от коррозии [2].

Цель диспергирующих присадок – это уменьшение донных отложений при хранении мазута. Механизм действия такой присадки заключается в измельчении нерастворимых веществ или удержание в растворенном состоянии. В качестве диспергирующих присадок можно применять щелочноземельные металлы, нефтяные сульфаты и жирные кислоты. Отечественными диспергирующими присадками являются ВНИИ НП-102, ВНИИ НП-106, ВНИИ НП-106М, которые снижают механический недожег топлива повышают КПД котлоагрегата за счет чистоты поверхностей нагрева [3].

Присадки, имеющие пептизирующие (расщепление агрегатов) свойства, способствуют более равномерному распределению трудносгораемых и легко частей в капле мазута, что приводит к снижению неполноты сгорания топлива.

В шестидесятые годы в России для предотвращения механического недожога была изобретена присадка ВНИИ НП-101.

Цель депрессорных присадок – это снижения температуры застывания мазутов. Парафины, содержащиеся в мазуте, при понижении температуры кристаллизуются, вследствие чего мазут теряет свойство подвижности. Отечественные депрессорные присадки ВЭС-408, ВЭС-503М, ВЭС-241, Сэвилен, ДМН-2005 [4].

Для борьбы с отложениями и коррозией на огневой стороне котлов, применяют присадку Protea Coronata М-29, которая действует и как катализатор горения, и как ингибитор шлака. Эта присадка также хоть и не значительно, но снижает выбросы окислов серы и азота [5].

Необходимо также учитывать то, что для эффективного использования присадки к топочному мазуту нужно подобрать наиболее подходящую принципиальную схему дозирования, которая зависит от того жидкая или твердая присадка. Обработка мазута может происходить при хранении мазута в резервуарах или же при подготовке непосредственно его к сжиганию. При этом необходимо обеспечить эффективное смешивание присадки с топливом, и затратить как можно меньше трудовых и энергетических ресурсов.

На Казанской ТЭЦ-1 проводились опыты, где в качестве присадки к высокосернистому топочному мазуту использовали карбонатный шлам с водоподготовки [6]. Анализ дымовых газов показал, что с этой присадкой концентрация  $SO_x$  в продуктах сгорания существенно уменьшается (более 30 %) [7].

На котлах котельной г. Кандалакша в качестве присадки к топочному мазуту использовали суспензию из смеси дизельного топлива с минеральным маслом и наноструктурированного гидроксида магния в количестве (45–55 %). По итогу опыта было выяснено, что с помощью присадки в дымовых газах происходит снижение оксидов серы и оксидов азота [8].

Как показывают опытные испытания на промышленных установках, целесообразно применять многофункциональные присадки, которые улучшают сразу несколько свойств мазута. В настоящее время в США и в Западной Европе в более 90 % случаях в топочный мазут добавляют присадки.

В работе приведены сведения о некоторых присадках к топочному мазуту, а также о необходимости создания новой отечественной многофункциональной присадки.

Перспективным направлением для снижения выбросов оксидов серы является использование в качестве присадки известь пушонку при вводе ее в топку котла в составе водомазутной эмульсии.

### **Источники**

1. Грибков А.М. Обеспечение технологического норматива по оксидам серы для котлов ТЭС // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. №22(6). С. 164-175.

2. Морозов И.П., Белосельский Б.С., Смирнов В.М., Тумановский В.А., Замегград В.Э. Применение присадок при сжигании мазутов на электростанциях и промышленных котельных // Энерго-пресс. №18/232.

3. Данилов А.М. Применение присадок в топливах. М: Мир, 2005. 288 с.

4. Вишнякова Т.П., Голубеева И.А., Крылов И.Ф., Лыков О.П. Стабилизаторы и модификаторы нефтяных дистиллятных топлив. М.: Химия, 1990. 152 с.

5. Заключение по работе «Проведение промышленных испытаний присадки Protea Coronata M-29 при сжигании мазута на газомазутных ТЭЦ». М.: ВТИ, 2006.



6. Зверева Э.Р., Ганина Л.В. Присадка к мазуту: патент на изобретение, заявка № 2007136395/04 от 01.10.2007 г. Рос. Федерация.

7. Зверева Э.Р., Лаптев Л.В. Повышение технико-экономических показателей мазутных хозяйств // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2007. №11–12. С. 12–18.

8. Акатнов А.П., Лосев В.П., Циркунов О.Ю., Шкарпет В.Э. Патент на изобретение RU 2634730 С, 03.11.2017.

УДК 621

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ С ЦЕЛЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВКАХ**

Р.В. Киселев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

kiseleow.roman2013@yandex.ru

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

На сегодняшний день существует два основных направления развития тепловых электрических станций, использующих твердое топливо: внедрение энергоблоков, работающих на суперсверхкритических параметрах и парогазовых установок с внутрицикловой газификацией угля.

**Ключевые слова:** газификация, уголь, пиролиз, ПГУ–ВЦГ, сжигание, газы, окислитель, кислород.

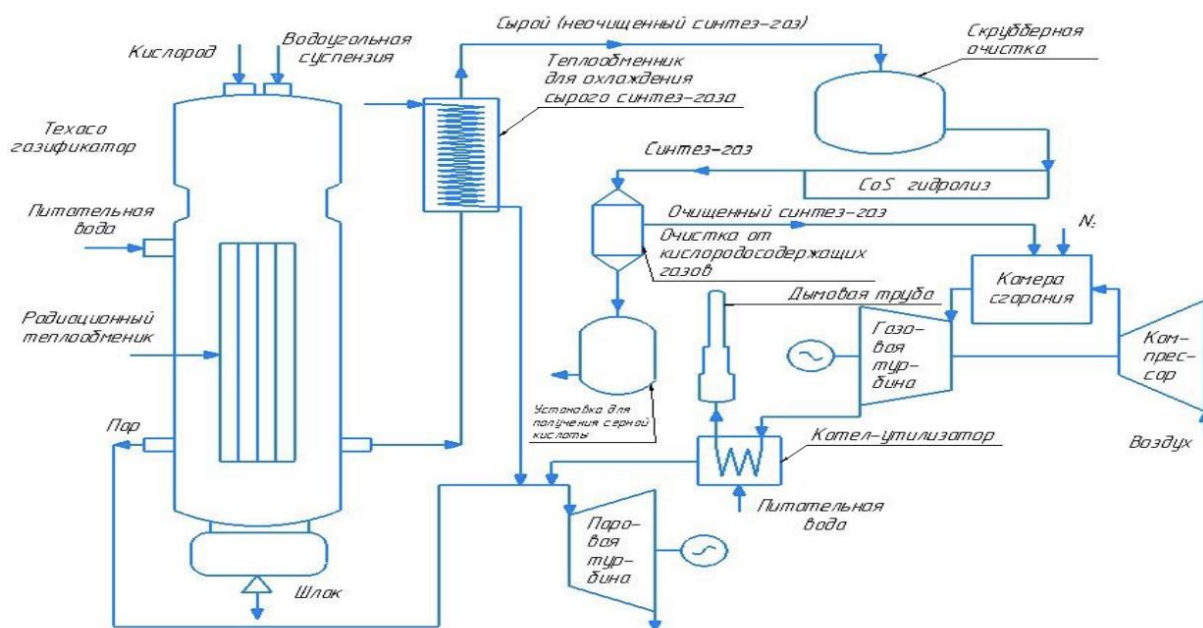
На территории Российской Федерации содержится 17 % всех мировых запасов угля, по различным прогнозам их хватит приблизительно на 100–150 лет, при этом доля его использования в энергобалансе страны составляет около 13 %. А вот доля природного газа составляет около 55 % и его запасов хватит примерно на 50 лет. Эти цифры показывают потенциал развития угольной энергетики.

Технология ПГУ–ВЦГ (парогазовая установка с внутрицикловой газификацией угля) соответствует приоритетным направлением развития науки, технологий и техники РФ в части энергоэффективности, энергосбережения и экологичности. Текущий КПД-нетто ПГУ–ВЦГ составляет 45–47 % с дальнейшей перспективой развития до 50–55 % [1].

Топливом для ПГУ–ВЦГ служит синтез – газ, который генерируется в процессе пиролиза угля в газификаторе. Процесс сжигания и газификации имеет одинаковые стадии: нагрев, сушка, выделение летучих веществ, выгорание полученного кокса [2].

Их разница заключается в том, что сжигание происходит при избытке кислорода и обеспечивает полное окисление угля, а при газификации процесс горения сопровождается меньшим количеством кислорода. Такой газ содержит соединения азота, серы, хлора, ртути, золы, щелочных металлов, поэтому требует тщательной очистки перед использованием в газовом цикле [3].

Принципиальная тепловая схема ПГУ-ВЦГ представлена на рисунке.



Принципиальная тепловая схема ПГУ-ВЦГ

Подача топлива с кислородом осуществляется в верхнюю часть колонны, где происходит частичное окисление угля. Для уменьшения тепловых потерь часть теплоты, выделяющиеся при газификации угля, уходит на парообразование питательной воды в радиационном теплообменнике. В дальнейшем этот пар подается на паровую турбину. Неочищенный синтез – газ охлаждается до приемлемой температуры для последующей очистки. В скрубберном устройстве происходит очистка газа от пыли, золы и хлоридов [4]. Далее газ очищается от соединений серы и подается в камеру сгорания ГТУ. В КС газ смешивается с азотом, это позволяет снизить образование оксидов азота и температуру, а также повысить массовый расход через турбину. Отработавшие газы направляются в котел – утилизатор, где отдают свою оставшуюся теплоту и удаляются в атмосферу через дымовую трубу. Образовавшийся шлак на дне газификатора удаляется в водяную ванну [5].

В роли окислителя топлива может служить кислород или воздух, но большая часть установок работает на кислороде, хотя это и увеличивает потребляемое количество электроэнергии на собственные нужды и капитальные затраты. Ряд преимуществ, при использовании кислорода:

- более высокий химический КПД;
- высокая удельная теплота сгорания синтез-газа;
- возможность использования различного качества угля;
- уменьшение габаритов и оборудования.

Но несмотря на все преимущества ПГУ-ВЦГ на данный момент в мире мало станций на которых стоят энергоблоки с газификацией угля, так как большие затраты при строительстве станции приходится оборудование газоочистки и газификатор.

### **Источники**

1. Трещёв Д.А., Трещёва М.А., Колбанцева Д.А., Калютник А.А. Исследование двухконтурной теплофикационной ПГУ при её работе по тепловому графику // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. №4. С. 27-42.

2. Гинзбург Д.М. Газификация топлива и генераторные установки. М., 1938. 386 с.

3. Пегуро Н.С., Канкин В.Д., Песин А.Ю. Химия и технология синтетического жидкого топлива и газа. М.: Химия, 1986. 350 с.

4. Ноздренко Г.В., Овчинников Ю.В., Щинников П.А, Бородихин И.В., Кузьмин А.Г., Эффективность комбинированного производства водорода на ТЭС // Энергосистемы, электростанции и их агрегаты: сб. науч. трудов; под ред. акад. РАН В.Е. Накорякова. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. Вып. 10. С. 138-146.

5. Савина М.В., Тимофеева С.С. Разработка схемы использования генераторного газа из низкосортного угля в ПГУ // Вестник КГЭУ. 2021. Т. 13. №2 (50) С. 66-77.

УДК 621-187.11

## **К ВОПРОСУ О КОНСЕРВАЦИИ БАРАБАННЫХ КОТЛОВ**

А.М. Кубасова

ФГБОУ ВО «ИГЭУ им. Ленина», г. Иваново

nastena.kubasova@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Е.В. Зайцева

В статье предложены различные методы консервации барабанных котлов при длительном простое.

**Ключевые слова:** барабанный котел, консервация, ингибитор, коррозия.

Длительный простой основного теплоэнергетического оборудования может привести к протеканию стояночной коррозии, которая проходит при наличии влаги, кислорода, углекислоты и других коррозионно-агрессивных веществ. Ущерб от стояночной коррозии, представляет наибольшую опасность для оборудования из-за образования местных повреждений металла, таких как язвы, трещины на поверхностях, испытывающих максимальные нагрузки. Поэтому проблема защиты оборудования от стояночной коррозии является актуальной.

Одним из путей решения данной проблемы является выбор эффективных методов и условий консервации теплоэнергетического оборудования, методов оперативного контроля ее качества.

Широкое применение получили противокоррозионные композиции, в состав которых входят амины и их производные, органические кислоты и жирные кислоты [1].

Среди аминов наиболее популярны в использовании стеариламин, октадециламин, 1-аминооктадекан. Из первичных пленкообразующих алифатических аминов  $C_{16}-C_{18}$  может быть использована 20 % водная эмульсия «Эмикор», выпускаемая по ТУ 2413-001-59097176-2006 и которая хорошо себя зарекомендовала в Российской энергетике [2]. «Эмикор» - ингибитор коррозии, жидкая форма которого позволяет обеспечить создание необходимых технологических условий для дозировки, поддержания равномерного распределения по объему (консервируемым поверхностям) и формирование защитной пленки при более низких температурах рабочей среды, чем стандартная твердая форма октадециламина [1].

Применение с 2006 г. данного ингибитора на объектах энергетики подтвердило его эффективность и большую технологичность. «Эмикор» разрабатывался как отечественный, более дешевый аналог ингибитора ODACON.

Ингибитор «ФМТ» (ингибирующая композиция на основе жирных кислот таллового масла) хорошо растворим в органических растворителях и может быть использован как присадка к маслам, углеводородным топливам. Однако его основным недостатком является слабая растворимость в воде, что существенно снижает его консервирующую способность. Оптимизированным вариантом «ФМТ» является ингибитор коррозии, содержащий концентрат жирорастворимый хвойный. Недостатком известной композиции является невозможность ее индивидуального использования как консерванта атмосферной коррозии. «ФМТ» применяется в виде 1–3 %-ных присадок к минеральным маслам и топливам (дизельным, реактивным, керосинам, бензинам); в виде 1–2 %-ной щелочной водной эмульсии [1].

Приготовление консерванта может осуществляться путем введения ингибитора без подогрева либо при слабом подогреве (избегать источников открытого огня). Для получения водной эмульсии в воде растворяется 1–1,5 % углекислого натрия, в щелочной раствор вводится при перемешивании 1–2 % «ФМТ».

Также, для консервации основного оборудования широко применяются ингибиторы, в состав которых входят жидкое стекло, изопропиловый спирт, вода, а также для повышения защитных свойств композиции – полиэтиленполиамин и водная вытяжка кубового остатка производства хвойного эфирного масла из древесной зелени. Преимуществом данного способа является ее дешевизна, а недостатком – привязка к определенной сырьевой базе (водная вытяжка кубового остатка производства хвойного эфирного масла из древесной зелени). Может использоваться ингибитор коррозии металлов, содержащий смешанное талловое масло, и в качестве амина могут использоваться: цианэтилированный этилендиамин, или полиэтиленполиамин, или диэтилентриамин. Достоинством является ее способность проявлять достаточно высокие защитные качества при использовании в водных средах, содержащих минеральные соли, кислород и сероводород. К недостаткам можно отнести необходимость строгого соблюдения оптимального соотношения компонентов, так как недостаток, а особенно избыток, резко ухудшают свойства композиции. Известен ингибитор коррозии металлов, содержащий жирные кислоты талловых масел и в качестве амина – диэтаноламин. Плюсом ингибитора является достаточно высокая эффективность защиты металлов от атмосферной коррозии, а минусом является то, что он представляет собой пасту и для использования его необходимо предварительно разогреть. Также диэтаноламин, входящий в состав ингибитора, обладает резким неприятным запахом, что требует использования специальных средств защиты персонала. Это отрицательно сказывается на условиях труда и приводит к удорожанию процесса консервации.

Существует способ влагозащиты печатных плат, в котором на одном из заключительных этапов платы погружают в раствор, включающий соль циклогексиламина и синтетических жирных кислот. Наличие жирных кислот делает практически невозможным растворение известных ингибиторов в воде.

Таким образом, для защиты основного теплоэнергетического оборудования от стояночной коррозии и минимизации ущерба от нее широко применяются ингибиторы на основе пленкообразующих аминов. Выбор реагента зависит от характеристик оборудования и финансовой возможности предприятия.

## Источники

1. Филиппов Г.А. Консервация теплоэнергетического оборудования с использованием реагентов на основе пленкообразующих аминов // Теплоэнергетика. 1999. №9. С. 71-75.

2. ТУ 2413-001-59097176-2006. Водная эмульсия октадециламина Эмикор. Консервация энергетического оборудования, защита от коррозии.

УДК 621.311.2

## ВОЗМОЖНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ МГД-ГЕНЕРАТОРА В СХЕМУ ГЭС ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА

Е.С. Майоров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

timetolegend@gmail.com

Науч. рук. ст. преп. А.И. Минибаев

Представлены результаты исследования возможности внедрения МГД-генератора в схему АЭС. Были проведены исследования о возможности и целесообразности использования установки при использовании различных рабочих тел.

**Ключевые слова:** электроэнергия, магнитогидродинамический генератор.

Одной из задач энергетики является нахождение наиболее выгодного и результативного способа выработки электрической энергии. Начиная от мелких усовершенствований и до создания новых видов ТЭС.

В 1832 г. М. Фарадей доказал, что в движущемся проводнике, под действием магнитного поля, возникает электрический ток, что послужило началом для создания магнитогидродинамического генератора.

МГД-генератор – энергетическая установка, в которой энергия рабочего тела, движущегося в магнитном поле, преобразуется непосредственно в электрическую энергию.

Рабочим телом является жидкий металл – свинец, используемый на АЭС [4] в качестве теплоносителя, из чего мы можем сделать вывод о его скорости, которая будет составлять 3–5 м/с [1], к тому же свинец, который находится в установке, является облученным, из-за чего можно считать, что практически все молекулы являются заряженными, вследствие чего можно принять коэффициент ионизации  $k = 0,9-1$  [2].

Мощность установки будет зависеть от силы тока, которая зависит от значения силы Лоренца, действующей на поток воды, выступающей в качестве проводника. Сила Лоренца будет рассчитываться по формуле:

$$F_{\text{л}} = B \cdot k \cdot W \cdot N \cdot e, \quad (1)$$

где  $B$  – магнитная индукция,  $k$  – коэффициент ионизации,  $W$  – скорость рабочего тела,  $N$  – количество молекул, прошедшее через сечение за единицу времени,  $e$  – заряд электрона [3].

Получив значение силы Лоренца, найдем значение силы тока:

$$I = \frac{F_{\text{л}}}{B \cdot d}. \quad (2)$$

Рассчитаем значение ЭДС:

$$\varepsilon = B \cdot W \cdot d \cdot \sin \alpha. \quad (3)$$

Используя полученные данные и рассчитав значение мощности, учитывая потери различного рода, получим значение мощности:

$$P = 1,82 \text{ МВт.}$$

Беря в расчёт полученное значение мощности, кол-во подключаемых электролизёров и их характеристики, рассчитаем срок окупаемости внедрения. С данной мощностью возможно подключить 182 электролизера. Учитывая капитальные вложения внедрения, который состоит из стоимости металлической врезной конструкции, трансформатора средних мощностей, электролизеров, инвертора и пары магнитов срок окупаемости будет составлять примерно 4 месяца.

### Источники

1. Минибаев А.И. Принципы получения ядерного топлива для АЭС // Матер. докл. XV аспирантско-магистерского семинара, посв. «Дню энергетика». В 2 т. Т. 1. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2012. 256 с.

2. Султанов М.М., Курьянова Е.В. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия вузов. Проблемы энергетика. 2021. Т. 23(2). С. 46-55.

3. Гурьянов Д.А., Ланкин К.А., Тимербаев Н.Ф. Анализ современного состояния технологий эксплуатации малых ГЭС // Вестник КГЭУ. 2020. Т. 12. №4. С. 73-84.

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

М.Г. Маркова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

markovamg@list.ru

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Н.И. Москаленко

В данной статье оценено современное состояние водородной энергетики и рассмотрены перспективы её дальнейшего развития. В связи с этим были также подняты основные проблемы водородной энергетики, которые мешают её массовому внедрению.

**Ключевые слова:** водородная энергетика, водород, экология, альтернатива, использование водорода.

На сегодняшний день одним из направлений энергетики является водородная энергетика. Данный вид относится к так называемым «зелёным технологиям» и положительно влияет на окружающую среду и здоровье человека. Водородная энергетика рассматривается как одна из альтернатив в связи с постоянным убыванием не возобновляемых источников энергии [1, 3, 4].

В качестве основного энергоресурса используется водород, у которого есть преимущества среди других ресурсов:

– неисчерпаемый и возобновляемый источник: для применения водородной энергетики нет надобности выделять средства на поиски месторождения, так как основным «поставщиком» водорода является вода;

– экологичность: водород нетоксичный, а продукты сгорания – пары воды;

– возможность накопления избыточной электроэнергии, вырабатываемой при снижении потребительских нагрузок;

– высокая теплота сгорания на единицу массы (120 МДж/кг);

– возможность транспортировки и хранения как природный газ.

Главными недостатками водорода, которые мешают его массово использовать при производстве энергии, являются [4, 5]:

1. Получение. Предлагается много путей получения чистого водорода. Вот несколько из них:

– электролиз является одним из наиболее эффективных, но вместе с тем дорогих методов. Он заключается в пропускании тока через воду и выделением водорода на катоде и кислорода на аноде [4, 6].



Однако для данного способа требуется много энергии. Снизить затраты и получить достаточную энергию можно использованием избыточной энергии АЭС (атомных электростанций);

- паровая конверсия природного газа – наиболее освоенный и распространённый промышленный метод получения водорода. Представленный способ в основном используют только на месте производства;

- выделение водорода из биомассы позволяет свести к минимуму затраты электроэнергии при производстве водорода, однако для этого метода требуется создание новых организмов.

2. Его хранение в чистом виде. Водород отличается своей взрывоопасностью и низкой температурой кипения, что создаёт риски при хранении в газовых баллонах или криогенном состоянии.

Российская Федерация обладает значительной ресурсной базой, высококвалифицированными кадрами, опытом проведения исследований в сфере водородной энергетики, что позволяет провести переход страны на данный вид энергетики.

В настоящее время приняты меры по внедрению водорода в различные сферы:

- создание мобильных устройств с водородными аккумуляторами, которые увеличивают срок эксплуатации пользования телефоном или другим мобильным средством;

- использование водорода как топлива в сфере космонавтики;

- разработки систем использования водорода в бытовых целях (водоснабжение, отопление и т.п.);

- создание транспортов с аккумуляторами на водороде позволяет увеличить расстояние без дозаправки. Данное использование водородной энергетики считается перспективным в экологическом плане.

С внедрением последнего пункта мы сталкиваемся с двумя главными недостатками водорода, которые были описаны ранее. Для такого шага потребуется создать целую сеть по получению, хранению, транспортировке и выдаче топлива.

В октябре 2020 года распоряжением правительства Российской Федерации был разработан проект развития водородной энергетики в России до 2024 года [2]. Представленный план включает в себя:

- разработку, подготовку технологий по производству, хранению и транспортировке водорода, в т. ч. это касается экономической стороны данного этапа;

- налаживание производства водорода с помощью мощностей атомных электрических станций;
- создание установок газотурбинных установок на метано–водородном топливе;
- выход на мировой рынок;
- создание и испытание железнодорожного транспорта на водороде.

Будут предприняты попытки создания поезда на водородных топливных элементах, а местом для пилотного полигона выбрана Сахалинская область [1, 2].

Благодаря своей экологичности и ряду других преимуществ у водородной энергетики уже есть большое будущее. Об этом говорит её развитие, исследования в данной области и опытные внедрения в нашу жизнь.

### **Источники**

1. Дли М.И. Водородная энергетика и перспективы ее развития / М.И. Дли, А.А. Балябина, Н.В. Дроздова // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). 2015;(22). – С.37-41.
2. Основы водородной энергетики / В.И. Мешников, Е.И. Терунов. СПб: Летц, 2010. 288 с.
3. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-92.
4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355.
5. Marin G., Mendeleev D., Osipov B., Akhmetshin A. Study of the effect of fuel temperature on gas turbine performance // E3S Web of Conferences. Prague. 2020. Vol. 178. Article number 01033. DOI: 10.1051/e3sconf/202017801033.
6. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Ахметшин А.Р. Показатели режимных характеристик парогазового энергоблока ПГУ-110 МВт на частичных нагрузках // Вестник КГЭУ. 2019. Т. 11. № 3(43). С. 47-56.

## МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ МОСКОВСКОГО РАЙОНА ГОРОДА КАЗАНИ

С.Н. Медведева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Sofya3101@bk.ru

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

В статье представлены исследования качества питьевой воды, оценка её значения для человечества, проведён химический анализ водопроводной воды города Казань по основным показателям качества.

**Ключевые слова:** питьевая вода, мониторинг, загрязнение, жёсткость, параметры качества, титриметрический метод.

Вода является важнейшим экологическим фактором человеческого здоровья и существования. Однако есть большое влияние антропогенного и техногенного фактора разной интенсивности на окружающую среду, в том числе и все водные ресурсы, поэтому проблема качества питьевой воды затрагивает многие стороны человеческой жизни. При работе промышленных предприятий происходит загрязнение водных слоёв биосферы, отсюда важнейшей деятельностью при обеспечении населения холодным водоснабжением является тщательный анализ проб воды и контроль качества. Этим обусловлена актуальность данной работы, целью которой является проведение мониторинга качества проб воды города Казань.

Промышленные зоны Республики Татарстан наносят колоссальный ущерб водоёмам, их засоление и загрязнение за счёт выброса сточных вод. К ним относят канализационные и дренажные воды, отходы от сельскохозяйственных ферм и промышленных предприятий, отложения тяжёлых металлов, органические соединения, нитраты и патогенные бактерии. Сильное загрязнение имеют водоёмы в нефтяных районах, поэтому около 70 % водных ресурсов не могут быть использованы в качестве источника питьевой воды. [2] Это проблема глобального масштаба, решение которой требует комплексного и незамедлительного решения: строительство очистных сооружений, введение оборотного водоснабжения и замкнутого производственного цикла и т.п.

Экспериментальная часть данной работы состоит в проведении исследования показателей качества питьевой водопроводной воды из систем централизованного водоснабжения Московского района, учитывая общее солесодержание (ОСС), водородный показатель (рН) и удельную электропроводимость (УЭП) с помощью кондуктометра; общую жёсткость, перманганатную окисляемость, содержание хлоридов и щёлочности, содержание компонентов азота и железа (III), сульфатов и хлоридов с использованием титриметрического метода [1].

В ходе лабораторных исследований были получены следующие показатели качества воды в Московском районе (табл. 1, 2).

Таблица 1

Результаты измерения водопроводной воды в г. Казани

Источник	Концентрация, мг/л				рН, ед.	ОСС, г/л	УЭП, мСм/м
	Fe <sup>3+</sup> , мг/л	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	Азотосодержащие компоненты (суммарно), мг/л	Окисляемость перманганатная, мг/л			
СанПиН	0,3	500	85,623	5,0	6-9	1	0,5
Московский район	0,41	69,126	0,512	1,7	6,19	0,23	0,47

Таблица 2

Результаты измерения водопроводной воды в г. Казани на соотношение жёсткости, щёлочности и хлор-ионов

Источник	Жёсткость общая, мг-экв/л	Щёлочность, мг-экв/л	Содержание хлоридов, мг/л
СанПиН	7	Не норм.	350
Московский район	4,175	4	1,15

Из табл. 1 видно, что в выбранном образце водопроводной воды содержится большое количество Fe<sup>3+</sup>, это окисленная форма железа, являющаяся основным видом ржавчины. На интенсивность коррозии в трубах влияет ряд факторов: наличие хлоридов, твёрдой фазы и кислорода в воде. Для предотвращения коррозионных отложений в трубопроводах и их износе необходима очистка труб или замена.

В табл. 1 и 2 отражается, что остальные показатели, подлежащие замеру, находятся в норме и не превышают предельно допустимых концентраций. Следовательно, анализируя показатели жесткости и щёлочности, можно сделать выводы, что данная вода имеет невысокие показатели по выпадению твердой фазы в виде карбонатов и извести. Все показатели качества питьевой воды находятся в умеренном масштабе.

Исследуемая вода по определённым показателям соответствует нормам качества питьевой воды [3]. В некоторых случаях люди используют дополнительную фильтрацию для улучшения её органолептических свойств, например, для улучшения вкусовых качеств и снижения концентрации ионов железа, придающих воде металлический вкус.

### **Источники**

1. Васильев В.П. Аналитическая химия. Гравиметрический и титриметрический методы анализа. В 2 ч. Ч. 1. М.: Высшая школа, 1989.
2. Архипова Н.С., Елагина Д.С. Актуальные вопросы экологии и безопасности жизнедеятельности в Республике Татарстан: учеб. пособие. Казань: Казан. ун-т, 2016.
3. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения.

УДК 697.341

## **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК РАСЧЕТА РАДИУСА ЭФФЕКТИВНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Д.И. Минугалиева  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
diminugalieva@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Т.Р. Ахметов

Произведен анализ четырех методик расчета радиуса эффективного теплоснабжения (РЭТ). Подробно описан каждый метод, его преимущества и недостатки, область применения. На основе анализа методов представлен вывод, отражающий состояние методик расчета на сегодняшний день.

**Ключевые слова:** теплоснабжение, энергоэффективность, расчет РЭТ.

На протяжении многих десятилетий российская энергетика ориентировалась на централизованную систему теплоснабжения (ЦСТ), так как оно считалось технически и экономически более эффективным. Но, несмотря на то, что ЦСТ является максимально выгодным, существует ряд потерь, зависящих от структуры всей системы. Показателями структуры ЦСТ являются: фактический уровень потерь тепловой энергии, протяженность и материальная характеристика теплосети, степень разветвленности сети, плотность тепловой нагрузки абонентов.

Из этого следует, что зона эффективного теплоснабжения от теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) имеет строгие границы. При оценке эффективности теплоснабжения потребителей решается одна из важнейших задач тепловой энергетики в целом – это определение границ централизованного теплоснабжения от ТЭЦ, в пределах которого эффективность снабжения тепловой энергией будет максимальной. Для этого используют методику определения радиуса эффективного теплоснабжения.

Сейчас существует ряд распространенных методик расчета РЭТ:

1. Приказ Министерства энергетики РФ от 5 марта 2019 г. № 212 «Об утверждении методических указаний по разработке схем теплоснабжения».

2. Расчет радиуса эффективного теплоснабжения согласно методике Е.Я. Соколова.

3. Расчет радиуса эффективного теплоснабжения согласно методике В.Н. Папушкина.

4. Расчет радиуса эффективного теплоснабжения согласно методике И.Г. Ахметовой.

Используя утвержденную Минэнерго методику определения РЭТ, нужно рассчитать максимальное расстояние от источника энергии до ближайшего потребителя в определенной системе теплоснабжения [1]. При превышении данного значения расстояния, подключение теплопотребителей считается нецелесообразным в виду повышенных расходов на транспортировку энергии. Расчет стоимости потребленной энергии в виде горячей воды должен вестись по строго установленным настоящим приказом формулам. Исходя из полученных значений стоимости энергии, можно также сделать вывод о целесообразности подключения потребителей к данной системе теплоснабжения.

Методика расчета радиуса эффективного теплоснабжения с помощью критерия минимальных удельных расходов на производство и транспортировку тепловой энергии заключается в предложенных Е.Я. Соколовым полуэмпирических соотношениях [2]. То есть для того, чтобы определить количество и место расположения источников тепловой энергии в крупных городах необходимо учитывать так называемый оптимальный радиус действия тепловых сетей, при этом принимая удельные затраты на выработку и транспортировку энергии от одной теплоэлектроцентрали минимальными. Данный метод не учитывает расстояние от источника энергии до ее потребителей, что приводит к «выпадению» ряда потребителей из зоны эффективного радиуса теплоснабжения. В связи с этим, данная методика крайне редко применяется для расчетов в больших городах, но пользуется успехом для расчетов в малых городах или деревнях с ЦСТ.

Достоинством данной методики является то, что она построена на нахождении аналитического соотношения, а главным недостатком считается ее эмпирическая направленность.

Нахождение РЭТ по методике В.Н. Папушкина осуществляется последовательными приближениями. Приближения ведутся до тех пор, пока общие затраты при развитии системы теплоснабжения на базе существующего источника тепловой энергии не превысят общие затраты при развитии системы теплоснабжения на основе сооружения новой котельной [3]. Использование этой методики позволяет выявить целесообразность или нецелесообразность подключения новых абонентов к источнику теплоснабжения в радиусе его действия.

Данная методика учитывает все возможные параметры тепловой сети между источником тепла и потребителем тепловой энергии, все это делает расчет РЭТ сложным процессом, в связи с тем, что требуется собрать большую базу данных по данному источнику теплоснабжения.

Методика И.Г. Ахметовой для расчета РЭТ включает следующие показатели: удельные затраты на электроэнергию, тепловую энергию в составе себестоимости на тепловую энергию при ее передаче; долю себестоимости тепловой энергии; удельные затраты на потери теплоносителя и тариф на тепловую энергию [4].

Метод, предложенный И.Г. Ахметовой, по сравнению с другими, проще и требует поиска меньшего количества данных, но хотя и не учитывает конструктивные параметры рассчитываемой тепловой сети.

На основе анализа методик расчета РЭТ можно сделать вывод. Все известные аналитические методы расчета можно использовать только для оценки всех вновь строящихся ЦСТ.

Несмотря на наличие утвержденного на законодательном уровне методики расчета радиуса эффективного теплоснабжения, существует ряд других общепринятых и популярных методик расчета РЭТ, которые оптимально подходят для того или иного населенного пункта. На сегодняшний день все еще постоянно ведутся исследования по поиску универсальных формул для расчета РЭТ.

### **Источники**

1. Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 05.03.2019 г. № 212 «Об утверждении Методических указаний по разработке схем теплоснабжения» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rg.ru/2019/08/20/minenergo-prikaz-212-site-dok.html> (дата обращения 19.02.2022).

2. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник. М.: Изд. дом МЭИ, 2006. 472 с.

3. Методика расчета радиуса эффективного теплоснабжения для схем теплоснабжения / В.Н. Папушкин, С.О. Полянцев, А.П. Щербаков, А.А. Храпков [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.rosteplo.ru/Npb\\_files/npb\\_shablon.php?id=1601](https://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=1601) (дата обращения 19.02.2022).

4. Ахметова И.Г. Система комплексной оценки и повышения эффективности централизованного теплоснабжения ЖКХ и промышленных предприятий: дис. ... докт. техн. наук: 05.14.04: Казань, 2017.

УДК 628.16

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ И АНАЛИЗ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ НА ТЭС**

А.В. Низамаева<sup>1</sup>, А.В. Печенкин<sup>3</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>nizamaevan@mail.ru, <sup>2</sup>vlasovsm@list.ru, <sup>3</sup>pav\_0910@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. С.М. Власов<sup>2</sup>

Одной из актуальных проблем эксплуатации тепловых электрических станций является предотвращение образования микробиологических отложений на установках теплоэнергетического оборудования. Виды бактерий и их количество могут меняться в зависимости от источника водоснабжения, сезонности и водно-химического режима. Множество эксплуатационных аварий обусловлены бактериальными процессами в трубопроводах. Поэтому биологическому контролю должно уделяться особое внимание. В статье рассмотрены методы обессоливания воды и технологии очистки, применяемые на станциях.

**Ключевые слова:** микробиологические отложения, тепловые электрические станции, водоподготовка, бактерии.

Надежность, экономичность и безопасность теплоэнергетического оборудования, трубопроводов ТЭЦ и тепловых сетей зависят от состояния и качества исходной воды. Установки водоподготовки и энергетическое оборудование на тепловой электрической станции (ТЭС) подвержены постоянному воспроизводству и накоплению биологических микроорганизмов [1].



Образование микробиологических отложений происходит при поступлении в тракт различных примесей с добавочной водой. Вследствие чего ухудшается качество воды и санитарно-техническое состояние трубопроводов. Проблема водоподготовки, вызванная жизнедеятельностью бактерий, требует своего решения. Для снижения вероятности образования отложений на внутренних поверхностях энергетического оборудования, требуется увеличение дозирования реагентов при химических промывках и уменьшение межпромывочного интервала. Из-за низкой теплопроводности отложений ухудшается эффективность процесса теплопередачи. Биологические загрязнения способствуют ухудшению вакуума в конденсаторах и заметному снижению КПД ТЭС по выработке тепловой и электрической энергии, а также перерасходу топлива [2].

Существует достаточное количество зарекомендовавших себя способов очистки и обессоливания воды. Для оценки биологического загрязнения оборудования ТЭС могут быть использованы следующие наиболее распространенные методы: определение общего микробного числа с использованием чашки Петри, масс-спектрометрия, люминометрический метод, VART-тесты и др. [3].

Получение обессоленной воды необходимо с целью снижения загрязнений микробиологическими отложениями. Достижение оптимальных эксплуатационных затрат и повышение экономической эффективности возможно не только за счёт снижения расхода реагентов, но и соблюдения ограничений на значение коэффициента упаривания  $K_u$  циркуляционной воды (ЦВ). При увеличении значения  $K_u$  происходит периодическое концентрирование воды, следовательно, усиливается процесс накипеобразования. Для стабилизации циркуляционной воды способами, безопасными для режимов ВПУ, следует снизить концентрацию органических и взвешенных веществ в ЦВ и обеспечить синхронизацию входящих и выходящих потоков более чистой воды, поступающей из ВПУ [4].

Для замедления процесса образования микробиологических бактерий, важно, чтобы процесс водоподготовки был тщательно проведён. Одним из самых эффективных и зарекомендовавших себя методов считается ионообменный и мембранный. Компенсация ионитами не обеспечивает полной очистки их от биологических примесей. До и после регенерации происходит постоянное накопление микроорганизмов. При длительной эксплуатации в гранулах ионитов образуются трещины, которые в дальнейшем являются идеальным местом обитания микроорганизмов. Одной из причин образования бактерий на ВПУ является низкий расход воды через фильтры, что приводит к увеличению количества бактерий в ионитах фильтра смешанного действия. Для того чтобы контролировать риски загрязнения оборудования и образования коррозии необходимо знать общее микробное число. Для снижения процесса образования бактерий надо проводить дополнительную термическую деаэрацию и биоцидную обработку ионитов ВПУ [5].

Проблема биологического загрязнения установок ТЭС требует особого контроля и проведения ряда режимных мероприятий. Важно использовать эффективные технологии по предотвращению образований микробиологических отложений в системе технического водоснабжения и на ВПУ трассах теплоносителя.

### **Источники**

1. Алиев А.Ф. Предотвращение накипеобразования в оборотных системах технического водоснабжения // Теплоэнергетика. 2006. №8. С. 55-58.
2. Бадриев А.И., Власов С.М., Чичирова Н.Д. Анализ нормальности распределения потоков в БИГ // Вестник КГЭУ. 2021. №1. С. 232-241.
3. Власов С.М., Власова А.Ю., Чичирова Н.Д., Бабилов О.Е. Исследование бактериального загрязнения теплоносителя схемы химического обессоливания на Казанской ТЭЦ-1 // Теплоэнергетика. 2022. №3. С. 86-91.
4. Калайда М.Л., Муганцева Т.П. Повышение эффективности работы систем технического водоснабжения // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2012. № 7-8. С. 124-127.
5. Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Власов С.М., Ляпин А.И., Мисбахов Р.Ш., Силов И.Ю., Муртазин А.И. Разработка методов снижения нестабильности циркуляционной воды сопряжённой системы оборотного охлаждения ТЭС // Теплоэнергетика. 2016. №10. С. 1-8.

## СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОВОЙ КОНВЕРСИИ ГАЗА И ЕГО СЖИГАНИЯ

А.В. Печенкин<sup>1</sup>, В.В. Гаврилин<sup>2</sup>, К.С. Сорокин<sup>3</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>pav\_0910@mail.ru, <sup>2</sup>volodya.gavrilin.97@mail.ru, <sup>3</sup>kostya.sorokin.kostya.sorokin@mail.ru

Науч. рук. д-р хим. наук, зав. каф. А.А. Чичиров

В данной статье рассмотрена проблема глобального потепления и разрушения озонового слоя из-за высокого уровня выбросов парниковых газов. Было представлено решение по переходу со сжигания природного газа на его паровую конверсию, и дальнейшее использование водорода в топливном элементе. Был произведен технико-экономический расчет и доказана эффективность и экономичность данного решения.

**Ключевые слова:** атомная энергетика, водородная энергетика, топливный элемент, водород, паровая конверсия, высокотемпературный газовый реактор, глобальные проблемы.

Актуальность декарбонизации и развитие альтернативной энергетики нарастает с каждым годом. Существующие энергетические компании стремятся прийти к минимизации углеродного следа для предотвращения экологических проблем. Использование и истощение ископаемых природных ресурсов представляет масштабную проблему, как и выбросы  $\text{CO}_x$  и  $\text{SO}_x$  в атмосферу. В настоящее время главным способом борьбы с последствиями использования ископаемого топлива является переход на возобновляемые и альтернативные источники энергии (ВИЭ и АИЭ), такие как солнечная, ветровая, атомная, водородная и другие виды энергии [1].

Представленное нами решение глобальной проблемы связанной с загрязнение окружающей среды, в частности минимизация выбросов парниковых газов в атмосферу и уменьшение углеродного следа энергетики:

– отказ от классического способа получения энергии, основанного на сжигании ископаемого топлива. Основным источником выбросов парниковых газов в атмосферу являются продукты сгорания и результат работы ТЭЦ и КЭС. При использовании предложенного нами метода обработки природного газа для получения водорода в отличие от классического отсутствует процесс горения, что приводит к значительному снижению выбросов оксида азота, серы, монооксида углерода и чистого углерода;

– количество энергии, получаемое при одинаковых затратах природного газа. Если рассматривать процесс горения природного газа, то с одного кубического метра мы получим примерно 35,83 МДж, а если используем это же количество газа для производства водорода: один кубический метр водорода преобразуется в 0,31 килограмм водорода. Теплотворная способность водорода при протекании окислительно-восстановительной реакции равна 68,4 ккал/моль, если переводить в стандартные единицы измерения, то мы получим 143,12 МДж/кг. Следовательно, при затратах одного кубометра газа в предложенной нами схеме мы получаем 44,36 МДж, без учета реализации побочного тепла, которое планируется использовать в паросиловых установках или для тепловых нужд [2, 3];

– технико-экономический расчёт.

Энергия, вырабатываемая атомным реактором за год:

$$E = N \cdot n,$$

где  $N$  – номинальная мощность,  $n$  – количество секунд.

$$n = 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 3153600 \text{ секунд};$$

$$E = 31536000 \cdot 2400 = 75700 \text{ млн МДж/год.}$$

Энергия, выделяющаяся при сжигании метана:

$$Q(\text{CH}_4) = D \cdot q,$$

где  $D$  – расход пара в кубометрах в год,  $q$  – удельная теплота сгорания метана.

$$Q(\text{CH}_4) = 2700000000 \cdot 35,83 = 96741 \text{ млн МДж/год.}$$

Энергия, получаемая в топливном элементе:

$$Q(\text{H}_2) = D \cdot q,$$

где  $D$  – расход водорода,  $q$  – энергия, получаемая в результате окислительно-восстановительной реакции водорода.

$$Q(\text{H}_2) = 840000000 \cdot 143,12 = 120220,8.$$

Суммарная затраченная энергия:

$$Q = E + Q(\text{CH}_4),$$

$$Q = 75700 + 96741 = 172441 \text{ млн МДж/год.}$$

Коэффициент полезного действия:

$$\text{КПД} = \frac{Q(\text{H}_2)}{Q},$$
$$\text{КПД} = \frac{120220,8}{172441} = 0,697.$$

Полученный нами КПД выше, чем КПД современных турбин, не превышающий 0,45.

### Источники

1. Правительство РФ № 2364-р. Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года.

2. Махарадзе Ю.В., Мельник Е.Ю., Андреев В.А. Расплавной карбонатный топливный элемент // X Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых «Россия Молодая». 2018. С. 21017.1-21017.4.

3. Пономарев-Степной Н.Н. Перспективы атомно-водородной энергетики. М.: Совет по приоритетному направлению стратегии НТР РФ, 2018.

УДК 621

## ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Р.И. Разакова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

reginarazakova@yandex.ru

Науч. рук. д-р хим. наук, зав. каф. А.А. Чичиров

В статье рассмотрены топливные элементы, их характеристики в зависимости от используемых материалов (электролита, катода, анода), область применения и принцип работы.

**Ключевые слова:** водород, топливные элементы, твердооксидный топливный элемент (ТОТЭ), производство энергии, энергетическая установка.

Потребности человечества в энергии растут, следовательно, и производство должно расти. На данном этапе развития науки направлено на повышение энергоэффективности производства, передачи и использования энергии. Одним из перспективных направлений решения проблем связанных с обеспечением электроэнергией потребителей являются топливные элементы.

Топливные элементы (ТЭ) – электрохимические устройства прямого преобразования энергии химической реакции в электрическую, в основе которых лежит принцип работы электрохимических ячеек с разделенными газовыми пространствами, в которых энергия взаимодействия топлива и окислителя, непрерывно и отдельно подводимых к электродам, непосредственно превращается в электрическую [1, 2].

Топливные элементы преобразуют топливо и воздух в электричество, тепло и воду в результате одного электрохимического процесса. В отличие от обычных двигателей, они не сжигают топливо и не имеют движущихся элементов (поршней, валов), вследствие чего уменьшаются потери энергии и объемы вредных выбросов.

Любой ТЭ состоит из электролита и двух электродов: анода и катода. Электролит имеет высокую ионную проводимость, но низкую электронную. На аноде протекает процесс окисления, на катоде – восстановление (см. рисунок) [3].

Существуют топливные элементы нескольких типов, основным признаком классификации которых является используемый электролит (см. таблицу) [1].

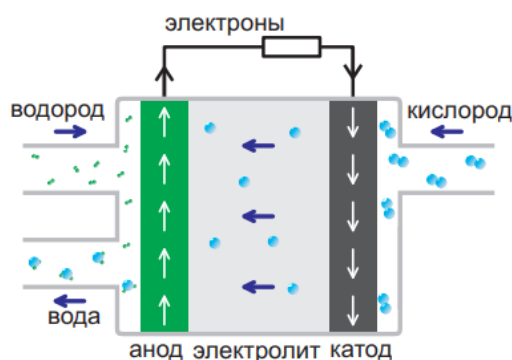


Схема топливного элемента

Химические реакции в топливных элементах идут на пористых электродах, водород поступает на анод топливного элемента, где его атомы разлагаются на электроны и протоны, электроны поступают во внешнюю цепь, создавая электрический ток.

### Характеристики топливных элементов

Тип ТЭ	ТПТЭ (твёрдо- полимерные)	ЩТЭ (щелочные)	ФКТЭ (фосфорно- кислотные)	КРТЭ (карбонатно- расплавные)	ТОТЭ (твёрдо- оксидные)
Температура, °С	80-100	65-250	150-220	600-1000	600-1000
Материал анода	Pt/C, Rt- Ru/C	Pt/C, Pt-Co/C, Pt-Pd/C	Pt/C, Pt-Ru/C	Ni-Al, Ni-Cr	Ni, NiO
Материал катода	Pt/C	Ni (Pt)	Pt/C, Pt-WO <sub>3</sub> /C	LiFeO <sub>2</sub>	LaSrMnO <sub>3</sub>
Материал электролита	Полимерная мембрана (иономер)	КОН / NaOH на носителе	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> на носителе	LiKCO <sub>3</sub> , LiNaCO <sub>3</sub> на носителе	ZrO <sub>2</sub> , CeO <sub>2</sub> , Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Диапазон мощностей	0.01-100 кВт	~100 кВт	~100 кВт	≥ 1 МВт	≥ 1 МВт
Ресурс, ч	до 20000	до 10000	до 50000	до 20000	до 60000

Основные преимущества ТОТЭ в качестве источника электрической энергии – перед другими типами топливных элементов — использование дешёвых оксидных материалов для электродов, отсутствие в топливном элементе жидкостей, возможность использования различных видов топлива, не ограничиваясь водородом [4].

Область применения ТЭ достаточно широка, можно выделить основные секторы: транспорт, небольшие и крупные стационарные установки, портативные устройства.

Топливные элементы, используемые на транспорте, имеют весьма высокий КПД и более энергобезопасны, по сравнению с двигателями внутреннего сгорания и ТЭ с бортовым реформингом метанола или бензина. Кроме того, ТЭ эффективно вырабатывают электроэнергию непосредственно на борту транспортного средства и при этом автомобили с ТЭ можно использовать не только по прямому назначению, но и в качестве резервных источников питания для жилищ и офисов, а также в удаленных местностях. По эксплуатационным параметрам не уступают обычному транспорту и предоставляют дополнительные возможности для их улучшения. Автомобили на ТЭ дают малые выбросы, а при использовании водорода они просто отсутствуют [2].

Стационарные топливные элементы обладают высоким КПД независимо от размера установок, в которых они используются, и вырабатывают качественную электроэнергию. Очень низкая эмиссия углерода и полное отсутствие выбросов вредных соединений NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, позволяет размещать установки с ТЭ в районах с повышенными требованиями к охране окружающей среды. ТЭ вырабатывают электроэнергию и тепло, используя самые разнообразные топлива; по сравнению с традиционными ТЭС топливные элементы обеспечивают больший объем вырабатываемой электроэнергии относительно выделяемого тепла.

Рынок водородных топливных элементов устойчиво развивается. Пока бурного спроса нет, но это только вопрос времени, обусловленный настороженным отношением потребителей к безопасности водорода и высокой стоимостью ТЭ из-за низких объемов производства. Переход к массовому производству неизбежно приведет к снижению стоимости. Между тем, в отличие от мощных традиционных энергоблоков топливные элементы хорошо приспособлены к крупносерийному производству.

### **Источники**

1. Топливные элементы (топливные ячейки) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://energy-units.ru/toplivnyye-elementy/> (дата обращения: 02.03.2022).
2. Радченко Р.В., Мокрушин А.С., Тюльпа В.В. Водород в энергетике: учеб. пособие для вузов; под науч. ред. С.Е. Щеклеина. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2021. 230 с.
3. Singhal S.C., Kendall K. High-temperature Solid Oxide Fuel Cells: Fundamentals. Design and Applications. Elsevier. 2003
4. Иванов-Шиц А.К., Мурин И.В. Ионика твердого тела. Т. 2. СПб.: Изд-во С.-Петер. ун-та, 2010

УДК 621.3

## **РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ТЭС**

Д.А. Савельева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

saveleva.diana2002@mail.ru

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Е.Г. Шешуков

В статье рассмотрены виды технологий очистки дымовых газов тепловых электростанций. Приведены пояснения и примеры к каждому виду, а также перечислены преимущества и недостатки некоторых из них.

**Ключевые слова:** дымовые газы, озоновый слой, циклон, скруббер.



Очистка дымовых газов является актуальной задачей защиты окружающей среды, так как при сжигании органического топлива на тепловых электростанциях невозможно организовать безотходное производство. В ходе полного сжигания топлива в воздушной среде в дымовых газах выделяется углекислый газ, водяные пары, азот, оксиды серы, оксиды азота и зола. Наличие вредных газообразных продуктов сгорания органических топлив в окружающей среде приводит к уменьшению толщины озонового слоя, формированию смога, эрозии почвы, гибели флоры, вызывает различные болезни у человека. Дымовые газы выбрасываются в атмосферу и распространяются в ней из дымовых труб [1, 2].

На сегодняшний день, чтобы очистить дымовые газы от посторонних веществ применяют множество различных методик, которые базируются на различных химических и физических принципах:

- сухие механические – задерживают твердые частицы при помощи фильтров и контактных поверхностей;

- влажные – растворяют загрязняющее вещество, применимы при прилипанию на увлажненных поверхностях;

- химические – образуются новейшие вещества в процессе глубокой реакции;

- электрические и магнитные – используют, с целью схватывания заряженных частиц, статический заряд создают искусственно.

Сухое очищение можно произвести циклоном. При помощи циклона очищение дымовых газов можно использовать, когда в дым входит большое количество различных пылевых частиц, таких как зола и сажа. Однако, сухое пылеулавливание не так результативно, как влажное, но его гораздо проще реализовать и это обойдется намного дешевле.

Сухая очистка дымовых газов от различных выбросов менее эффективна, чем влажная. Исходя из этого при нарастании необходимых условий к остаточным ПДК примесных веществ на предприятиях чаще используются влажные очищающие устройства. Широкое применение получили высокоскоростные аппараты мокрой очистки дымовых газов для предприятий теплоэнергетики – скрубберы Вентури [3, 4]. Их достоинством является возможность использовать их для улавливания золы и сажи, которая весьма различна по дисперсному и физико-химическому составу.

Электростатическая фильтрация применяется на производствах, где невозможен взрыв или воспламенение вследствие влияния высоковольтных разрядов. Если же дым не под угрозой взрыва, то самым лучшим способом нейтрализации можно считать электрофильтр для очистки дымовых газов. Его суть работы основана на действии электростатических сил, в том числе и формирование статических зарядов.

Положительные свойства данной технологии представляют собой:

– работу при высоких температурах (не требует предварительного охлаждения);

– улавливание частиц различных размеров, доходя до небольших летучих молекул электрофильных веществ;

– надежное оседание на компактных электродах, имеющих сравнительно малую площадь.

Одним из недостатков может быть высокие издержки для постоянного возбуждения коронного разряда в просвете электрофильтра. К тому же, электрофильными оказываются не все загрязняющие вещества. При коронировании молекулы большинства углеводородов заряжаются с трудом.

В зависимости от веществ, содержащихся в топливе, возможно преобразование характера твердых частиц [5, 6] тем самым меняется и наиболее действенная технология очистки для каждого случая.

### **Источники**

1. Запасный В.В. Очистка технологических и вентиляционных газов при различных производственных процессах: учеб. пособие. Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2006. 178 с.

2. Очистка дымовых газов: методы, фильтры, очистка от оксидов азота, оксидов серы, золы, твердых частиц: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fakel-f.ru/blog/15-02-21> (дата обращения 11.03.2022)

3. Разва А.С. Природоохранные технологии в промышленной теплоэнергетике // Теоретическая и промышленная теплотехника: Томск, 2010.

4. Очистка дымовых газов тепловых электростанций: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyklon-cn.ru/flue-gases-thermal-power-plants.html> (дата обращения 11.03.2022).

5. Mendeleev D.I., Maryin G.E., Akhmetshin A.R. Improving the efficiency of combined-cycle plant by cooling incoming air using absorption refrigerating machine // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. vol. 643. article number 012099. DOI 10.1088/1757-899X/643/1/012099.

6. Mendeleev D. I., Galitskii Y.Y., Marin G.E., Akhmetshin A.R. Study of the work and efficiency improvement of combined-cycle gas turbine plants // E3S Web of Conferences. 2019. vol. 124. article number 05061. DOI 10.1051/e3sconf/201912405061.

## РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ТЭС

В.Р. Сагиров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

vildan.2001.1@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Н. Маслов

В статье предложена информация о последствиях использования угольных ТЭС, они проявляются в виде выбросов дымовых газов в атмосферу. Рассмотрены основные технологии очистки дымовых газов от газообразных выбросов и частиц золы. Открыта новая технология очистки газовых смесей от углекислого газа. Описаны её составляющие и возможные применения на ТЭЦ.

**Ключевые слова:** очистка дымовых газов, CO<sub>2</sub>, сероочистка, газовые гидраты.

Влияние тепловой энергетики на окружающую среду определяется видом применяемого топлива. Природный газ применяется как наиболее чистый вид топлива, ниже него по критерию чистоты находятся мазут, уголь и сланцы. Роль более доступного и экономичного принадлежит углю. При его использовании на тепловых станциях в качестве топлива увеличивается сброс нежелательных веществ в атмосферу. Современные ТЭС сжигают огромное количество угля и продуктами его сгорания являются различные соединения, в их число входят: зола, пыль, сажа, оксиды азота и серы. В исследуемой литературе было выявлено, что в 21 веке доля используемого нами угля должна превысить долю используемой нефти, и это превышение будет существенно увеличиваться. При этом общая стоимость ТЭС, в которых используют уголь, будет заметно ниже, чем в тепловых электростанциях, использующих газ в качестве топлива [1, 2]. В связи с этим возникает проблема очистки выбрасываемых дымовых газов (далее ДГ).

Технологии очистки ДГ бывают сухие и мокрые. Помимо двух указанных способов существуют химические, электрические и магнитные способы очистки ДГ. Использование мокрых технологий обеспечивает степень очистки ДГ около 90–95 %, полусухие обеспечивают 70–80 %, показатели сухих составляют максимум 50 %. Одновременно на тепловых электростанциях применялись 2 способа очистки от серы: мокрый с использованием CaCO<sub>3</sub> и полусухой известняковый методы [3, 4].

Во время использования механической фильтрации применяются рукавные и пластинчатые устройства. Частицы, являющиеся больше определенного размера, не пропускаются ячейками сетки.

Электрическая очистка газа базируется на воздействии сил неоднородного электрического поля высокого напряжения (до 80 кВ). Электрофильтрами называются аппараты, использующие данный метод. Во время пропускания через них газа наблюдается ионизация, и заряженные частицы оседают на электроде.

Мокрая сероочистка – снижение температуры загрязнённого газа до достижения им состояния конденсации. К ней прибегают при достаточно высокой концентрации серы в топливе. Кислый конденсат газа смывается известковым молоком или молотым  $\text{CaCO}_3$ . Данный способ в наши дни применяется в больших установках.

Существуют два метода химической очистки ДГ. Первый – селективное некаталитическое восстановление оксидов азота, а второй – каталитическое восстановление (роль восстановителей имеют сжиженный  $\text{NH}_3$  и  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  (мочевина)) В [4] описаны эффективные способы для снижения выбросов в атмосферу  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$ . При использовании второго метода сорокапроцентный водный раствор мочевины вводят в объём газохода. Раствор при помощи насоса подаётся в смеситель, в котором происходит смешивание с водяным паром, температура при этом около 24–29°C, далее образуется восстановительная смесь, состоящая из пара и карбамида. Она подается через распределительные струйные форсунки в газоход. Во втором методе применяется аммиак. Его вводят через сопла в уходящие газы, и после чего полученный продукт проходит через ячейку со слоями катализатора. Метод, основанный на применении аммиака, направлен на поглощение диоксида серы с помощью распылённого раствора  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$  при низкой температуре и его выделением при нагревании. Полученное соединение подаётся в регенераторную установку, в которой происходит его нагревание до кипения, в результате чего мы имеем сжиженный стопроцентный диоксид серы (2). После охлаждения раствора цикл улавливания  $\text{SO}_2$  возобновляется [5, 7]. Зачастую вместо химического способа предпочтение отдаётся влажному способу, в связи с тем, что химический способ является более дорогим.

Учеными российских университетов была разработана новая технология газоразделения [5–7]. В её основе лежит использование газовых гидратов, так называемых кристаллических соединений. Соединения обладают способностью впитывать углекислый газ в объеме, который превышает их собственный в 170 раз. Авторы применяли модульную газовую смесь, имитирующую воздух в ТЭЦ, помимо указанного использовались Tween80, SDS и  $C_{16}H_{36}FN$ . Эффективность метода является существенно высокой, но с экономической точки зрения он обладает рядом ограничений.

### Источники

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355.

2. Бухонов Д.Ю., Морозов В.В. Эффективность многоцелевого использования твердого топлива на ТЭС // Теплоэнергетика. 2003. № 12. С. 65-67.

3. Вольчин И.А., Ясинецкий А.А. Технологии сухой и полусухой сероочистки дымовых газов угольных ТЭС // Энергетика та електрифікація. 2012. № 5. С. 7–20.

4. Шевердяев О.Н., Приб А.С., Скрипилова Н.В. Эффективные технологии очистки дымовых газов и переработка твердых отходов на угольных тепловых электрических станциях // Энергосбережение и водоподготовка. 2014. №3 С.66-69.

5. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Ахметшин А.Р. Показатели режимных характеристик парогазового энергоблока ПГУ-110 МВт на частичных нагрузках // Вестник КГЭУ. 2019. Т. 11. № 3(43). С. 47-56.

6. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-92.

7. Mendeleev D.I., Marin G.E., Akhmetshin A.R. The Implementation and Use of Gas Turbines with Absorption Refrigerating Machine in the Technological Schemes of Thermal Power Plants // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). 2019. article number 8934431.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗДУШНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА ДЛЯ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.А. Садиков<sup>1</sup>, А.А. Хохонов<sup>2</sup>, Д.А. Агарков<sup>3</sup>, А.В. Самойлов<sup>4</sup>, С.И. Бредихин<sup>5</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, <sup>3,4,5</sup>ИФТТ РАН, г. Черноголовка

<sup>1</sup>sadikova@kamaz.ru, <sup>2</sup>Anton.Hohonov@kamaz.ru, <sup>3</sup>agarkov@issp.ac.ru,

<sup>4</sup>samoilov@issp.ac.ru, <sup>5</sup>bredikh@issp.ac.ru

Науч. рук. канд. мед. наук, доц. А.А. Филимонова

В данной работе рассмотрены характеристики теплообменника энергетической установки на твердооксидных топливных элементах (ТОТЭ) с точки зрения эффективности теплообмена и влияния на работу твердооксидных топливных элементов в составе батарей ТОТЭ.

**Ключевые слова:** топливные элементы, твердооксидные топливные элементы, ТОТЭ, теплообменник, эффективность теплообмена.

Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ), обладая максимальным коэффициентом полезного действия преобразования химической энергии водорода и углеводородного топлива в электроэнергию и высокопотенциальную тепловую энергию среди прочих генераторов, тем не менее, нуждаются в точном расчете и поддержании процесса теплообмена с целью стабилизации рабочей температуры батареи ТОТЭ. Этот процесс обусловлен высокой рабочей температурой от 700 до 1000 °С, а также связан с режимами предварительного нагрева, рабочим режимом работы, режимом охлаждения. Задачу поддержания скорости теплообмена этих режимов, зачастую, выполняет такое устройство, как воздушный теплообменник.

В случае неэффективности работы теплообменника вероятны следующие последствия [1]:

– недостаточный коэффициент теплообмена приведет к повышенной тепловой напряженности в батарее ТОТЭ, что приведет к ускоренной деградации стека;

– в виду того, что теплообменник в распространенных конструкциях энергетической установки также предназначен для рециркуляции анодных газов, отклонения значения падения давления относительно расчетных в различных условиях является существенным граничным условием для конструкции рециркуляции анода и конструкции воздушного нагнетателя, т.к. температура является их важнейшим рабочим показателем;

– неверная конструкция рециркулятора анодных газов может привести к выпадению сажи (углерода), что в конечном итоге приведет к ускоренной деградации стека [2].

В виду того, что теплоемкость материалов элементов батареи достаточно высока, в процессе преднагрева необходимо постепенно увеличить массовые расходы топлива и воздуха с контролем скорости нарастания температуры от 1,5 до 2 °С/мин. В соответствии с расчетными данными теплообмена, необходимо провести контроль массовых расходов вблизи рабочих точек воздушного реформера (см. таблицу), т.к. процесс риформинга напрямую зависит от показателей теплообменника.

Массовые расходы газов

№		Массовый расход воздуха, кг/ч	Массовый расход сопутствующего газа, кг/ч	Температура, °С
I	1	60	120	от 200 до 800
	2	120	100	от 200 до 800
	3	120	120	от 200 до 800
II	4	20	20	от 200 до 800
	5	20	40	от 200 до 800
	6	30	30	от 200 до 800
	7	30	40	от 200 до 800
	8	30	50	от 200 до 800
	9	40	40	от 200 до 800
III	10	40	80	от 200 до 800
	11	70	60	от 200 до 800
	12	80	80	от 200 до 800

Примечание: I – стадия разогрева, II – рабочие точки реформера, III – массовые расходы в середине диапазона

По результатам испытаний установлено, что фактические значения массовых расходов и падения давления соответствуют расчетным, а среднее значение КПД процесса составляет 88 %.

Таким образом, объем выполненных работ и полученные результаты дают основание к продолжению исследовательских испытаний в составе энергоустановки на транспортном средстве.

## Источники

1. Влияние различных факторов на распределение температуры в батарее твёрдооксидных топливных элементов / А.К. Демин, А.Ю. Чуйкин, М.Ю. Горшков [и др.] // Электрохимическая энергетика. 2013. Т. 13. № 4. С. 187-191.

2. Экспериментальное исследование модуля воздушный риформер/горелка/теплообменник / Ю.В. Волкова, М.И. Ершов, В.А. Мунц, А.А. Волкова // Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности: седьмая международная научно-техническая конференция: сб. науч. трудов. Ульяновск: УлГТУ, 2017. С. 75-81.

УДК 621.311

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОМПРЕССОРА ГТУ

В.Л. Селиванов<sup>1</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>selvad99@mail.ru, <sup>2</sup>nizamova\_tes@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.И. Муртазин, канд. техн. наук, доц. А.Ш. Низамова<sup>2</sup>

Показатели работы компрессора ГТУ зависят от температуры окружающей среды. В статье рассматриваются способы повышения мощности газовой турбины при высоких температурах наружного воздуха за счет охлаждения воздуха на всасе компрессора газовой турбины. Показаны преимущества и недостатки каждого из способов, рассмотрены их принципы действия.

**Ключевые слова:** системы охлаждения, компрессор, газотурбинная установка, абсорбционная холодильная машина, испарение.

Характеристики газотурбинных установок очень чувствительны к изменению метеорологических параметров, таких как температура и давление. Повышение температуры наружного воздуха сверх расчетной негативно сказывается на эффективности газовой турбины (см. рисунок). Это связано с повышением плотности всасываемого воздуха, вследствие которого уменьшается массовый расход рабочей среды в компрессоре [1]. Большая часть вырабатываемой энергии газовой турбины тратится на привод компрессора, поэтому повышение его эффективности при различных режимах работы является актуальной задачей.



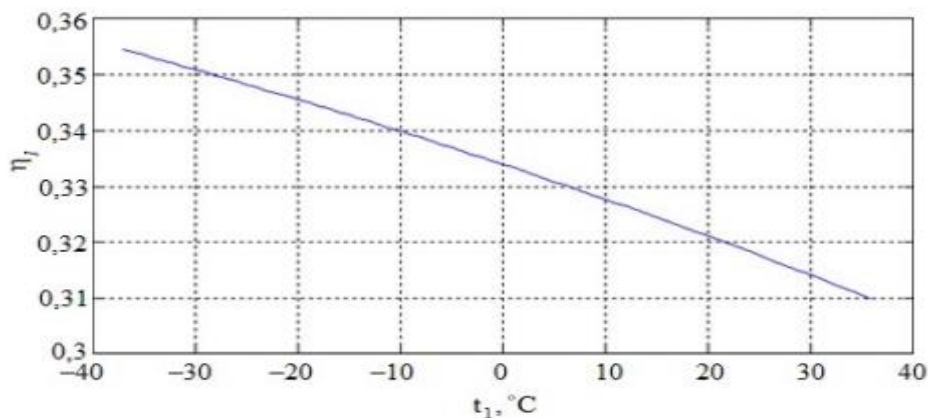


График зависимости КПД ГТУ от температуры воздуха перед компрессором

Для повышения эффективности установки используют системы охлаждения подающегося на всас компрессора воздуха, которые располагаются до или после комплексного воздухоочистительного устройства (КВОУ) [2]. Распространение получили три вида охлаждающих установок:

- абсорбционные холодильные машины (АБХМ);
- системы с естественным испарением воды (СОЕИ);
- системы с принудительным испарением воды (СОПИ).

АБХМ представляет собой холодильную установку, не требующую для работы электрическую энергию [3]. Питание установки может осуществляться низкопотенциальным паром или горячей водой, которые всегда в избытке присутствуют на станции. За счет испарения хладагента температура охлаждаемой среды снижается до необходимой.

В СОЕИ и СОПИ охлаждение воздуха осуществляется путем испарения воды перед всасом компрессора [4]. При принудительном испарении используется капельное распыление жидкости в воздушное пространство для увеличения поверхности соприкосновения сред и улучшения теплообмена. При естественном испарении используется физическое явление конвективного теплообмена, при котором поток теплоты направлен от охлаждаемого воздуха к воде. Вследствие процесса испарения температура поступающего воздуха уменьшается. Пределом охлаждения для таких систем является температура влажного термометра, при которой воздух становится насыщенным и процесс массообмена прекращается.

В результате применения охлаждающих систем уменьшается удельная мощность, необходимая на привод компрессора, и, как следствие, повышается электрическая мощность ГТУ [5].

### Источники

1. Мубараков И.И., Шигапов А.Б. Влияние отборов охлаждающего воздуха на эффективность газотурбинной установки // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22(4). С. 16-23.
2. Шигапов А.Б. Стационарные газотурбинные установки тепловых электрических станций. Казань: КГЭУ, 2006. 316 с.
3. Хасанов Н.Г., Шигапов А.Б. Оптимальная степень сжатия воздуха в газотурбинной установке с промежуточным воздухоохладителем // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. №1-2. С. 108-118.
4. Валиев Р.Н., Зиганшин Ш.Г., Ваньков Ю.В., Гарипов Р.Р. Повышение эффективности парогазовой установки с котлом-утилизатором за счет включения в схему абсорбционного преобразователя теплоты // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19(11-12). С. 101-111.
5. Шигапов А.Б., Кутлубаев И.Т. Расчетные формулы основных показателей парогазовых блоков с учетом реальных параметров рабочих тел // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2015. №(1-2). С. 26-32.

УДК 620.9

## ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В РОССИИ

А.М. Соколов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
hai\_ksta@bk.ru

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

В статье приведены особенности развития, режимы работы распределённой генерации в России.

**Ключевые слова:** электроснабжение, малая энергетика, распределённая генерация.

Единого определения и термина «распределённая генерация» – не существует, но в нашей стране он может трактоваться как энергетические ресурсы, мощность которых не превышает 100 МВт, устанавливаемые как с питающей стороны, так и со стороны потребления, имеющие широкое применение для надежного электроснабжения потребителей.

То есть, под этим термином понимается выработка и передача энергии потребителю непосредственно в его близости, который обладает следующими преимуществами:

- энергетической независимостью потребителей;
- выравнивание нагрузок в их пиковых значениях;
- снижение уровня необходимого резервирования мощности;
- минимальный транспорт энергоносителя;
- возможность использования местных энергоресурсов.

В отличие от зарубежных стран, в России преобладает значение централизованных систем. Единая энергетическая система (ЕЭС) России считается самой крупной системой в мире, где осуществляется централизованное оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике, снабжающая огромные жилые территории нашей страны. Тем не менее, до 75 % территории России (Крайний Север, Дальний Восток, Сибирь, Бурятия, Якутия, Алтай, Курильские острова, Камчатка) не подключены к централизованному электроснабжению. Эти малонаселённые регионы отличаются суровыми климатическими условиями, сложной и дорогостоящей логистикой грузов, удалённых от центров электроснабжения. Строительство крупных электростанций на таких территориях экономически нецелесообразно, так как потребуются огромные вложения на прокладку линий тепло- и электропередач. В связи с этим, жизнедеятельность более 20 млн. человек в данных регионах обеспечивается средствами малой распределённой энергетики. К тому же, данными источниками обеспечивается резерв для непредвиденных аварийных случаев в системах централизованного энергоснабжения, которые требуют к себе надёжность, бесперебойность и безопасность [1].

Кроме того, есть другие причины для развития распределённой энергетики в России. Современной электроэнергетической отрасли типично значительное увеличение тарифов по логистике электрической энергии и мощности, сумме за перерасход и недоотпуск заявленной мощности. Повышение цен является следствием развития малой генерации промышленными предприятиями и, как результат, отказ от покупки электроэнергии и мощности на энергетическом рынке.

К настоящему моменту, спрос на распределённую энергетику возрос во многих областях: на отдалённых территориях нашей страны, в сфере жилищно-коммунального хозяйства, а также для промышленных потребителей, нуждающихся в параметрах энергии, отличных от других крупных потребителей.

В арсенал распределённой энергетики входят следующие технологии: газопоршневые и дизельные установки; газотурбинные и парогазовые установки; установки прямого сжигания и газификации углей и твердых бытовых отходов; солнечные батареи; ветряные турбины; гидротурбины малой мощности; тепловые насосы; технологии накопления энергии; технологии интеллектуальных сетей и прочие [2].

В нашей стране большим спросом пользуются объекты распределённой генерации, созданные в основном по газотурбинной технологии, ритмы развития которой самые высокие на российском рынке энергетического оборудования. Производителями предоставляется выбор оборудования в диапазоне 1–25 МВт, регулярно модернизируются агрегаты, при этом уделяется отдельное предпочтение коэффициенту полезного действия, уровню автоматизации работы, экологическим показателям, надёжности и стоимости обслуживания электростанции в процессе эксплуатации. Генераторы отечественного производства выигрывают в стоимости и простоте ремонта у зарубежных, что удешевляет и упрощает переход потребителей на собственную генерацию [3].

Объекты распределённой генерации могут работать в двух режимах:

1) независимое энергоснабжение – объекты малой энергетики эксплуатируются отдельно в изолированных энергосистемах, при соблюдении требований надёжности, бесперебойности и безопасности электроснабжения потребителей с учетом их графиков нагрузки, а также ремонтного и аварийного резерва;

2) синхронная работа с внешней энергосистемой – пиковое и резервное энергоснабжение в зоне действия централизованной системы (выдача в энергосистему избытков мощности и получения из энергосистемы пиковой мощности).

### **Источники**

1. Распределенная генерация Российской Федерации. Особенности, структура, режимы работы / Н.А. Трофимов, Р.В. Перминов, В.С. Потапов, В.Р. Жандаров // Научный журнал. 2019. № 7(41). С. 51-54.

2. Стрикалова Е.В. Развитие распределенной системы электроснабжения в мире // Техника и технологии: пути инновационного развития: сб. науч. трудов 9-й Межд. науч.-практ. конф. В 2-х т. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. С. 156-159.

3. Попадюк Т.Г., Купреев Д.А. Стимулирование инновационного развития распределенной энергетики // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2018. № 3(106). С. 54-59.

## АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭКОНОМИКЕ КАЗАХСТАНА

Р.К. Сатова<sup>1</sup>, Л.С. Нурмуратова<sup>2</sup>, А. Гадылбек<sup>3</sup>

АУЭС им. Г. Даукеева, г. Алматы, Казахстан

<sup>1</sup>r.satova@aes.kz, <sup>2</sup>l.nurmuratova@aes.kz, <sup>3</sup>a.gadylbek@aes.kz

В статье исследованы существующие в лабораторных условиях опытно-промышленные технологии производства водорода в Республике Казахстан. В контексте глобального энергетического перехода Президент Казахстана К.К. Токаев поручил Правительству разработать Стратегию развития альтернативной энергетики. Речь идет о возможном прорыве в развитии водородной энергетики. Выгодные природно-климатические и геополитические условия для развития низкоуглеродных технологий в добывающих отраслях экономики Казахстана в свете достижения углеродной нейтральности к 2060 г, позволяют широкомасштабное использование, хранение и транспортирование водорода.

**Ключевые слова:** водородная энергетика, водородные поезда, использование возобновляемого топлива, транспортировка и хранение водорода, вредные выбросы в окружающую среду, экологическая безопасность, рациональное использование энергетических ресурсов.

В Стратегии «Казахстан-2050» отмечается, что в течение последних 20 лет интернет-технологии и возобновляемые источники энергии (ВИЭ) создадут новую энергетическую инфраструктуру для Третьей промышленной революции, основой которой станет водородная энергетика [1].

Анализ текущего состояния и перспектив развития водородной энергетики предполагает, что особое внимание в разработке национальной водородной стратегии Республики Казахстан следует уделить следующим направлениям:

- создание мощностей по производству водорода, в том числе за счет диверсификации нефтегазового сектора и электростанций с избытком/«провалами» мощности (Экибастузские ГРЭС, МАЭК);
- развитие инфраструктуры по доставке и хранению водорода, включая возможности существующих газотранспортных мощностей;
- производство транспорта на водородных топливных элементах;
- производство топливных элементов различной мощности для транспорта и локального энергоснабжения районов и объектов, удаленных от централизованной энергетической инфраструктуры;

– меры по стимулированию спроса на водородный транспорт, включая нормативно-правовую базу поддержки производства и потребления водорода;

– проведение НИОКР в сфере водородной энергетики, в том числе по созданию новых материалов для хранения водорода и производства топливных элементов;

– международное сотрудничество в области водородной энергетики, включая технологическое регулирование и стандартизацию.

Развитие водородной энергетики позволит реализовать преимущества Казахстана и провести диверсификацию углеводородного сектора, обеспечит опережающую трансформацию экономики в новый технологический уклад и получение масштабных выгод, необходимых для динамичного социально-экономического развития страны.

Экономические риски для Казахстана, связанные с переходом к 2060 г. к углеродной нейтральности ведущих экономик, очевидны. Это означает падение конкурентоспособности базовых секторов экономики – нефтегазового и горно-металлургического; снижение доходов от главных статей экспорта – нефти, газа, металлов; уход инвесторов из базовых секторов экономики Казахстана из-за санкций на инвестиции со стороны ведущих государств.

Казахстан располагает исключительно благоприятными условиями для производства водородного топлива. К предпосылкам развития водородной энергетики следует отнести:

1. По производству водорода:

– избыток мощностей электростанций Казахстана. При совокупной установленной мощности электростанций страны около 20 ГВт регулярный избыток мощности составляет около 3 ГВт (так называемые «ночные провалы» нагрузки), а с учетом сезонных провалов нагрузки на крупнейших ГРЭС не задействованная мощность достигает 7 ГВт;

– крайне низкая себестоимость электроэнергии в Павлодарской и Мангистауской областях, менее \$1 за 100 кВт·ч;

– налаженное производство водорода для собственных нужд на ГРЭС Павлодарской области и «МАЭК-Казатомпром» в Мангистауской области (Водород, обладающий высокой удельной теплоемкостью и теплопроводностью (выше воздуха в 14 и 7 раз, соответственно), используется в системах охлаждения энергоустановок электростанций.);

– Казахстан может производить на существующих мощностях электростанций (7 ГВт) до 1 млн т водорода ежегодно методом электролиза, без ущерба для основной деятельности. Этого достаточно для решения проблем пиковых нагрузок на всех электростанциях страны, или для ежедневной заправки 270 тыс. городских автобусов;

– цена производства водорода составит при электролизе – \$1–1,4 за 1 кг, при конверсии природного газа – \$0,83 за кг, при газификации угля – \$1 за кг, при газификации нефтяных остатков – \$2,2 за кг.

Все вышеперечисленное означает, что Казахстан располагает возможностями по производству 1 млн. тонн водородного топлива, или \$1,5-2 млрд. в год на существующей базе ГРЭС в Павлодарской области. Возможности производства водорода из природного газа и угля требуют дополнительного изучения.

## 2. По развитию водородного транспорта:

– производственная база заводов в Костанае, Алматы и ВКО позволяет создать совместные предприятия с ведущими компаниями Тойота и Хёнде по сборке водородных автомобилей и автобусов более 80 тыс. ед. в год;

– потребность в модернизации общественного транспорта в Казахстане составляет 1200–1500 автобусов в год;

– согласно статистике 2020 г., на рынке Казахстана спрос на авто в ценовом сегменте свыше \$55 тыс. составляет более 1500 ед.;

– спрос на водородный транспорт в Казахстане ограничен из-за отсутствия инфраструктуры (заправочных станций) и государственных мер поддержки продаж водородного транспорта. Емкость рынка Казахстана составляет 300 автобусов на водороде и 500 легковых автомобилей ежегодно при строительстве в Алматы, Нур-Султане, Павлодаре, Караганде и Актау по 1–2 водородных АЗС в каждом городе, а также мер господдержки;

Казахстан располагает значительными запасами редкоземельных и благородных металлов, необходимых для производства катализаторов и комплектующих для топливных элементов.

3. По научно-производственному потенциалу Казахстан располагает уникальными возможностями для развития водородной энергетики. Производство водорода может быть масштабировано не только на базе электростанций. Для инвесторов в углеводородном секторе рано или поздно встанет вопрос о диверсификации нефте- и особенно, газодобычи в производство водородного топлива. Поэтому консолидация усилий недропользователей по проведению НИОКР в сфере производства и транспортировки водорода – вопрос ближайшего будущего.

К основным направлениям НИОКР в ближайшие годы следует отнести:

– эффективные технологии производства водорода по критериям экологичности и себестоимости;

– получение новых материалов для хранения и транспортировки водорода;

– новые технологии производства топливных элементов.

Следует признать, что в Казахстане пока еще не проводилось крупных исследований в области водородной энергетики. Однако имеются определенные наработки в данной сфере. В частности, в Евразийском национальном университете имени Л.Н. Гумилева на базе существующей Лаборатории технологий водородной энергетики в рамках фундаментальных и прикладных научных тем проводятся исследования в области технологий водородной энергетики, материаловедения для водородной энергетики в соответствии с мировыми аналогами.

В национальном университете имени Аль-Фараби ученые факультета биологии и биотехнологий изучают возможности производства водорода из фототрофных микроорганизмов с помощью двух больших групп фототрофных микроорганизмов: микроводорослей и цианобактерий [2].

В ближайшей перспективе ключевым вопросом для развития международного сотрудничества в сфере водородной энергетики станет растущая потребность ЕС, Китая, Кореи и Японии в импорте водородного топлива. Наличие значимых мощностей по производству водорода станет главным предметом договоренностей и компромиссов в международной повестке.

В сфере производства водорода уже сегодня немецкая компания Sevind анонсировала строительство крупнейшего в мире «зеленого» завода для добычи водорода на территории Казахстана, благодаря удобному рельефу и ветреному климату страны. Проект нового завода предполагает добычу в Казахстане 45 ГВт электричества от солнечных и ветровых генераторов для ежегодного производства 3 млн тонн водородного топлива. Завод не будет иметь аналогов в мире – он вдвое мощнее, чем Asian Renewable Energy Hub, строящийся в Австралии, и в пять раз мощнее проекта Eneгіx Base One в Бразилии. Для сравнения: крупнейший из действующих водородных заводов – канадский Air Liquide использует всего 20 ГВт для питания электролизных установок, тогда как Svevind намерена тратить на эти цели по 30 ГВт. Кроме этого, сырьевая экономика Казахстана – одна из самых процветающих в Центральной Азии, поэтому достаточно безопасна для реализации долгосрочных проектов [3].



Республика Казахстан географически удалена от основных потенциальных рынков сбыта водорода (ЕС, восточное побережье КНР и др.), что существенно ограничивает долгосрочные возможности экспорта водорода, учитывая технологические сложности (стресс-коррозию и пр.) и высокую стоимость транспортировки водорода, особенно наземным (трубопроводным, железнодорожным, автомобильным) транспортом. При этом в рамках рынка ЕАЭС конкуренцию Казахстану будут составлять российские производители. В этой связи экспортный потенциал Казахстана требует серьезного анализа, в том числе с учетом долгосрочного развития рынка водорода в сопредельных странах [3].

Основное внимание в водородной стратегии Республики Казахстан целесообразно сосредоточить на возможностях, которые водородная энергетика создает для внутреннего рынка страны как с точки зрения его энергообеспечения и декарбонизации, так и развития собственного промышленного производства оборудования и компонентов, необходимых для производства, хранения, транспортировки и использования водорода.

В сфере железнодорожного транспорта в Казахстане с 2010 г. работает компания Alstom, результатом деятельности которой стали 7 производственных объектов: Электровозосборочный завод (ЭКЗ) в г. Нур-Султан, КазЭлектроПривод (КЭП) в г. Алматы, три сервисных депо, один сервисный центр и административный офис. Alstom является единственным производителем электровозов и стрелочных приводов на территории Центральной Азии и Кавказа и мог бы быть использован для создания поездов на водородных топливных элементах [4].

Таким образом, развитие водородной энергетики позволит реализовать преимущества Казахстана и провести диверсификацию углеводородного сектора, обеспечит опережающую трансформацию экономики в новый технологический уклад и получение масштабных выгод, необходимых для динамичного социально-экономического развития страны.

### **Источники**

1. Стратегия «Казахстан-2050». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1200002050> (дата обращения 12.02.22).

2. Bolatkhan, K., Kossalbayev, B.D., Zayadan, B.K., Tomo, T., Veziroglu, T.N., & Allakhuerdiev, S. I. (2019). Hydrogen production from phototrophic microorganisms: Reality and perspectives. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(12), 5799-5811. doi:10.1016/j.ijhydene.2019.01.092.

3. Yilmaz I.T., Gumus M. Effects of hydrogen addition to the intake air on performance and emissions of common rail diesel engine // Energy. 2018. 142, 1104-1113. DOI: 10.1016/j.energy.2017.10.018.

4. Декарбонизация добывающих отраслей экономики Республики Казахстан: монография; под ред. С.Ж. Даукей. Нур-Султан: ВиПРИНТ, 2021. С. 152-161.

УДК 338

## МИРОВАЯ ПРАКТИКА ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕЛЕННОГО ВОДОРОДА

Р.К. Сатова<sup>1</sup>, М.С. Салыкова<sup>2</sup>, Л.С. Нурмуратова<sup>3</sup>

АУЭС им. Г. Даукеева, г. Алматы, Казахстан

<sup>1</sup>r.satova@aes.kz, <sup>2</sup>m.salykova@aes.kz, <sup>3</sup>l.nurmuratova@aes.kz

В данной статье рассматривается международный опыт производства и использования зеленого водорода, полученного на основе возобновляемых источников энергии. Существующие технологические процессы, которые сложно или практически невозможно электрифицировать, поскольку нужна топливная альтернатива нефти, углю и природному газу. С точки зрения углеродной нейтральности зеленый водород является самым экологичным, так как получают его с помощью электролиза. При его производстве электричество поступает от ВИЭ, таких как ветер, солнечная или гидроэнергия, при этом отсутствуют выбросы CO<sub>2</sub>. При этом более 30 стран мира опубликовали стратегии развития водородной энергетики и выделили средства на декарбонизацию экономики через водородные технологии. Анонсировано не менее 228 крупных проектов, в основном в Европе, Азии и Австралии в сферах крупномасштабной промышленности, транспорта и инфраструктуры.

**Ключевые слова:** декарбонизация, углеродная нейтральность, возобновляемые источники энергии (ВИЭ), водородная энергетика, зеленый водород, экологическая безопасность, вредные выбросы в окружающую среду, рациональное использование энергетических ресурсов.

Водородная энергетика – драйвер экономики 21-века, который способен оживить рынок энергоресурсов в условиях перехода к безуглеродным видам топлива. Водород широко используется в энергосистемах различных отраслей экономики. Мировое производство товарного водорода порядка 40 млн т/год, из них 70 % используется в химической промышленности, остальные 30 % – в нефтепереработке, в металлургии и пищевой промышленности (см. рисунок). Для этих целей товарный водород производят из природного газа.



Динамика и структура потребления водорода в мире

Для внедрения водорода его выгодность с экологической точки зрения в случае, когда первичным источником энергии являются возобновляемые (ВИЭ), связана с выбросами только водяного пара. Как газообразное химическое топливо, водород может заменять углеводороды в двигателях внутреннего сгорания (ДВС), газовых турбинах и системах отопления. Кроме того, водород можно использовать для прямого получения электрической энергии с помощью топливных элементов.

Водород не является возобновляемым источником энергии, а выступает в качестве удобного носителя энергии. Действительно, 1 кг водорода содержит более 33 кВт/ч энергии, что примерно в 3 раза превосходит теплотворную способность природного газа и в 7 раз – каменного угля. Но для того, чтобы использовать его как топливо, необходимо осуществить определенные производственные действия, в частности, выделить водород из воды или метана [1].

Более 50 % водорода получают путем паровой конверсии метана. При получении из метана 1 тонны водорода в воздух выбрасывается 5,5 т углекислого газа  $CO_2$ , то есть, при производстве водорода из ископаемого топлива образуется большое количество парникового газа, который необходимо улавливать и утилизировать, например, закачивать в геологические горизонты. Водород, получаемый из метана и угля, не решает климатической проблемы, поэтому его называют «коричневым водородом», что существенно снижает его цену, как товара на внешнем рынке.

Производство водорода путем электролиза (процесс разложения воды на водород и кислород) является энергоемким и обходится примерно в 4 раза дороже, чем из природного газа. При использовании для электролиза энергии из ВИЭ данный способ получения водорода является самым чистым в связи с отсутствием выбросов парниковых газов. Подобным образом получают «зеленый водород».

Водород сам по себе не является инструментом декарбонизации глобальной энергетики и экономики будущего, но как энергоноситель-посредник он может получить применение в транспортной сфере для исключения загрязняющего воздействия выхлопных газов автомобилей в крупных городах. Подобный экологический инструмент могут позволить себе только высокоразвитые страны и к 2050 г. автомобили на водородном топливе еще не будут конкурировать с электромобилями [2].

Анализ производства водорода в мире показывает, что зеленый водород дороже водорода, произведенного из относительно недорогих ископаемых ресурсов. Цена зеленого водорода зависит от волатильности цены на зеленую электроэнергию и затрат на электролизер. На сегодняшний день зеленый водород является наиболее дорогостоящим, от 4 до 6 евро/кг, так как конкурентным фактором является цена за зеленую электроэнергию. Ожидается, что в перспективе конкурентоспособность зеленого водорода будет повышаться наряду со снижением цены на электроэнергию от ВИЭ и повышением цены на CO<sub>2</sub> [3].

В стратегиях 30 стран по достижению углеродной нейтральности большое значение отводится зеленому водороду. Так, по оценкам DNV, глобальный спрос на водород в качестве энергоносителя вырастет с нулевого уровня в 2019 г. до 24 ЭДж/г. в 2050 г. [4]. В период с 2015-2019 гг. цена на зеленый водород снизилась на 50 % в виду снижения стоимости электролизеров на 40 %, в совокупности со снижением цены на электроэнергию в соответствующем периоде [5].

В мировой практике уже имеются первые пробы по замене угля водородом. Например, компания Thyssen Krupp использует водород для производства стали. Компания оценила свои затраты в 10 млрд. евро, отметив, что они уже не могут справиться со значительными инвестициями в одиночку. По оценке компании Thyssen Krupp, для перехода на экологически чистые производственные процессы только в сталеплавильной отрасли потребуется около 35 млрд. евро. Эти данные необходимо учитывать при разработке дорожной карты по декарбонизации отдельных отраслей экономики Германии [6].

Закон об инфраструктуре также предусматривает создание Программы исследований и разработок чистого водорода, которая направлена на демонстрацию и коммерциализацию использования чистого водорода в транспортном, коммунальном, промышленном, коммерческом и жилом секторах, а также на демонстрацию стандарта производства чистого водорода к 2040 году. Использование чистого водорода для производства электроэнергии, отопления жилых и коммерческих помещений и горячего водоснабжения, обеспечения топливом легких, средних и тяжелых дорожных транспортных средств, железнодорожных составов, самолётов, а также стали, цемента, химического сырья и технологического тепла.

По оценке Международного энергетического агентства (МЭА), для достижения к 2050 г. нулевых выбросов парниковых газов мировое производство водорода должно увеличиться не менее чем до 520 млн т/г. в год против 90 млн т/г. в 2020 г. При этом технология производства водорода должна измениться в пользу методов с низкими или нулевыми выбросами парниковых газов [7].

Мировая практика свидетельствует о том, что для создания «водородного общества» необходимо реализовать ряд мер – накопить избыточные мощности ВИЭ, снизить затраты на производство водорода при помощи электролиза, развивать технологии для конечного потребления. Безусловно, создание широко распространенной водородной экономики вызовет спрос и на голубой водород в дополнение к зеленому.

По прогнозам Rystad, заметный рост потребления водорода ожидается в 2030-е гг., к 2050 г. потребление вырастет в 5 раз – с текущего уровня в 70 млн т/г до почти 350 млн т/г. Основными источниками роста станут авиация и морской транспорт, производство стали. Также к 2050 г. водород будет топливом для около 5 % парка личных автомобилей и 10 % дорожных перевозок, для генерации электроэнергии и тепла [8].

За последние 30 лет среднегодовые темпы роста спроса на водород в мире оцениваются на уровне 5,5 % г/г. При этом ожидается, что спрос в Азии будет расти опережающим темпом в 6,3 % г/г и к 2050 г. достигнет 47 % мирового спроса на водород. Темпы роста спроса в Европе и Северной Америке составят 4,9 % г/г в среднем в год, с учетом того, что все новое производство должно быть углеродно-нейтральным или близким к тому.

Опора на зеленый водород характерна преимущественно для стран, зависящих от импорта природного газа, либо не обладающих существенными мощностями его добычи. В частности, крупные проекты по производству зеленого водорода уже реализуются или запланированы во многих странах Ближнего Востока (Оман, Египет, ОАЭ, Саудовская Аравия и др.).

Имеются проекты по применению водорода на железнодорожном транспорте. Водородные поезда используют сжатый водород в качестве топлива для выработки электроэнергии с использованием гибридной системы (объединяющей топливный элемент и батареи) для питания тяговых двигателей и вспомогательного оборудования. Для заправки водородных поездов создаются водородные заправочные станции, использующие технологии электролизера PEM и позволяющие поставлять водород в поезда. Техничко-экономический анализ данных станций включает знания, необходимые для принятия любых решений, касающихся реализации, стоимости электроэнергии, отпускной цены водорода, количества часов работы и количества поездов для обслуживаемого парка. Результаты расчетов показывают, что использование водорода в качестве альтернативного топлива для поездов является устойчивым и выгодным решением с точки зрения экономики, окружающей среды и безопасности.

Концепция мобильности для региональных поездов и водородной инфраструктуры предлагается на примере гибридных поездов на топливных элементах в южной Италии. Предлагаемая система анализируется с точки зрения энергоэффективности и экономических аспектов. Результаты исследования демонстрируют осуществимость и преимущества системы с точки зрения энергетических характеристик, с КПД топливных элементов более 47 % и КПД объекта более 50 %, сохраняющих высокие значения даже в самых сложных сценариях [9].

Инвестиции в водород нацелены на развитие новых технологий и промышленности во всем мире, создание квалифицированных рабочих мест. При этом спектр применения водорода может быть гораздо шире. В условиях перехода к чистой энергетике его необходимо внедрить в секторах, где он почти полностью отсутствует, например, транспорт, здания и производство электроэнергии.

Для широкого использования водорода существует ряд проблем:

– во-первых, производство водорода из низкоуглеродной энергии является дорогостоящим. Анализ МЭА показывает, что стоимость производства водорода из ВИЭ может упасть на 30% к 2030 г. в результате снижения его стоимости и увеличения производства водорода. Топливные элементы, заправочное оборудование и электролизеры (производящие водород от электричества и воды) станут востребованными;

– во-вторых, водород почти полностью обеспечивается за счет природного газа и угля, но его производство приводит к ежегодным выбросам CO<sub>2</sub>, эквивалентным выбросам в Индонезии и Соединенном Королевстве, вместе взятые. На пути к экологически чистой энергии будущего существующий масштаб выбросов требует как улавливания CO<sub>2</sub> при производстве водорода из ископаемого топлива, так и увеличения запасов водорода из чистого электричества;

– в-третьих, необходимо разработать общие международные стандарты безопасности транспортировки и хранения больших объемов водорода и отслеживания воздействия на окружающую среду.

Несмотря на то, что производство водорода путем паровой конверсии легких углеводородов или угля, а также электролиза воды имеет относительно широкое применение в различных областях промышленности, использование водорода в энергетических целях остается крайне ограниченным в силу отсутствия необходимой инфраструктуры и конкуренции со стороны более дешевых и доступных источников энергии. В данном контексте переход к использованию водорода является вынужденной мерой, направленной на резкое снижение выбросов парниковых газов со стороны топливно-энергетического комплекса, что обуславливает необходимость его активного стимулирования и целесообразности разработки долгосрочной стратегии развития водородной энергетики как на национальном, так и на корпоративном уровнях.

### **Источники**

1. Декарбонизация добывающих отраслей экономики Республики Казахстан: монография; под ред. С.Ж. Даукей. Нур-Султан: ВІПРИНТ, 2021. С. 152-161.

2. Водород вместо нефти: новая энергетика оказалась для России сомнительной [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mk.ru/economics/2021/06/30/vodorod-vmesto-nefti-novaya-energetika-okazalas-dlya-rossii-somnitelnoy.html> (дата обращения 28.07.2021).

3. DNV Energy Technologies Report, 2021.

4. Отчет Dentons, декабрь, 2020.

5. Pei M, Petäjaniemi M, Regnell A, Wijk O. Toward a Fossil Free Future with HYBRIT: Development of Iron and Steelmaking Technology in Sweden and Finland. *Metals*. 2020; 10(7):972. <https://doi.org/10.3390/met10070972>.

6. Guerra CF, Reyes-Bozo L, Vyhmeister E, Salazar J.L., Caparros M.J., Clemente-JulC. Sustainability of hydrogen refuelling stations for trains using electrolyzers. International Journal of Hydrogen Energy. 020 Hydrogen Energy Publications LLC. Published by Elsevier Ltd/ DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.10.044.

7. Atteridge W.J., Lloyd S.A. Thoughts on use of hydrogen to power railway trains. Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers Part A- Journal Of Power And Energy. 2021 DOI: 10.1177/0957650920912086.

8. Sabillon C, Singh BN, Venkatesh B. Technoeconomic Models for the Optimal Inclusion of Hydrogen Trains in Electricity Markets. Ieee Transactions On Transportation Electrification. 2019. Doi: 10.1109/Tte.2019.2934345.

9. Поезд на водороде – европейский технологический прорыв с оговорками. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://p.dw.com/p/351Nh> (дата обращения 28.07.2021).

УДК 676.054.82

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ И ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДЕАЭРАЦИИ**

А.М. Тухбатуллин<sup>1</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>adel.tukhbatullin@bk.ru, <sup>2</sup>nizamova-tes@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Е. Безруков, канд. техн. наук, доц. А.Ш. Низамова<sup>2</sup>

В статье предложена математическая модель, которая базируется на оперативном контроле параметров деаэрации и позволяет повысить надежность, качество и экономичность работы теплоэнергетических установок.

**Ключевые слова:** математическая модель, деаэратор, оперативный контроль, экономичность.

Наличие в воде кислорода и диоксида углерода, тем более при высоких температурах, приводит к появлению коррозии, которая ставит под удар всю надежность и безопасность тепловой электрической станции в целом. Вследствие этого необходимо все время деаэрировать воду, пока она используется в качестве теплоносителя [1].



В тяжелое для экономики время проблема повышения эффективности деаэрации является, как никогда, актуальной. Зная, что скорость молекул воды замедляется при низких температурах, можно сделать вывод, что эффективность деаэрации зависит от поверхности деаэрации и времени контакта фаз, с увеличением которых возрастают габариты деаэратора [2].

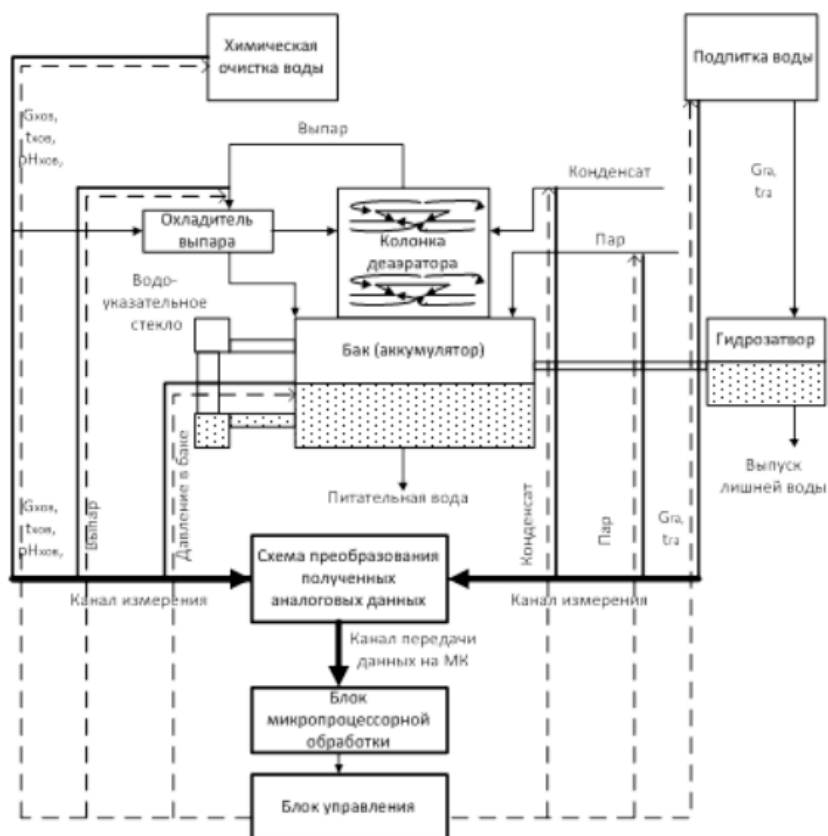


Схема протекания разделения фаз в деаэраторах атмосферного типа

На рисунке можно увидеть схему протекания разделения фаз в деаэраторах атмосферного типа [5].

В ходе деаэрации воды образуется выпар, возникновение которого обусловлено разностью давлений. После, выпар направляется в охладитель, где через трубу агрессивные газы выводятся в атмосферу [3]. Многофакторная математическая модель вакуумных деаэраторов представляет собой уравнение регрессии, как зависимость между показателями качества (остаточной концентрацией кислорода и диоксида углерода) и основными регулируемыми режимными факторами (расходом, температурой и щелочностью химически очищенной воды, а также расходом и температурой перегретой воды) [4].

Ниже представлена математическая модель, служащая для создания компьютеризированной системы многопараметрического контроля технологического процесса деаэрации:

$$F_{out} = f([G, t, pH]_{xob}, [G, t]_{ga}, \Delta P, \Delta S, \tau, \Delta V),$$

где  $\Delta P$  – разность между равновесным давлением растворенных в жидкости газов и давлением газа над жидкостью;  $\Delta S$  – поверхность контакта жидкости и газа;  $\Delta V$  – отвод газов из жидкости;  $\tau$  – время контакта.

### Источники

1. Pierre R. Roberge. Corrosion Engineering: Principles and Practice. New York: McGraw Hill, 2008.

2. Лаптева Е.А., Шагиева Г.К., Лаптев А.Г. Сравнительная характеристика контактных насадок в декарбонизаторах и термических деаэраторах ТЭС // Вестник КГЭУ. 2017. № 2 (34). С. 33-42.

3. Малинина О.В., Шарапов В.И. Охладители выпара термических деаэраторов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ohladiteli-vypara-termicheskikh-deaeratorov/viewer> (дата обращения 11.03.2022).

4. Труб И.А., Литвин О.П. Вакуумные деаэраторы. М.: Энергия, 1967. 100 с.

5. Мошкарин А.В., Ледуховский Г.В., Коротков А.А., Барочкин Ю.Е. Атмосферные деаэрационные установки [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ispu.ru/files/27-29.pdf> (дата обращения 11.03.2022).

УДК 621.311

## ЕДИНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

С.С. Филимонов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

serfv43@gmail.com

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Н.И. Москаленко

В данной работе рассмотрена Единая энергетическая система Российской Федерации. Определены достоинства и недостатки данной системы электрификации. Произведён анализ всех энергосистем России. Выделены наиболее дефицитные регионы страны и определены перспективы развития.

**Ключевые слова:** электрификация, генерация электроэнергии, распределительные сети, энергетика.

В двадцатом веке развитие энергетики и увеличение мощностей производилось за счёт единичных генерирующих объектов. Благодаря плану Государственной комиссии по электрификации России (ГОЭЛРО) происходило увеличение количества генерирующих станций, производящих не только электроэнергию, но и тепловую энергию [1].

Основными целями плана ГОЭЛРО являлись:

- увеличение генерирующих энергию станций;
- увеличение протяжённости электрических линий;
- восстановление и реконструкция электроэнергетики;
- создание единой энергетической системы во всей стране.

На данный момент в Российской Федерации действует 880 электростанций мощностью свыше 5 МВт каждая, объединённых в Единую энергетическую систему (ЕЭС). На приведённом ниже изображении отображено разделение ЕЭС РФ (рис. 1). В состав энергосистемы входит 71 субъект страны, которые объединены в 7 объединённых энергетических систем.



Рис. 1. Объединения энергетических систем РФ

Все энергосистемы соединены межсистемными высоковольтными линиями электропередачи напряжением от 220 до 500 кВ и выше и работают в синхронном режиме. Общая установленная мощность генерирующих объектов на 2021 г. составляет 245313,25 МВт. Протяженность ЕЭС России насчитывает более 13 000 линий электропередачи класса напряжения 110–750 кВ общей протяженностью более 490 тыс. км и более 10 000 электрических подстанций 110–750 кВ. За генерацию электроэнергии отвечает 5 разновидностей электростанций: тепловые электрические станции (ТЭС) (59,27 %), атомные электрические станции (АЭС) (20,60 %), гидроэлектростанции (ГЭС) (19,81 %) и др. Преимущественно в Российской Федерации электроэнергия генерируется на ТЭС (рис. 2).



Рис. 2. Структура выработки электроэнергии в РФ

Сейчас наблюдается тенденция роста производства электроэнергии на станциях, выбрасывающих наименьший углеродный след: ГЭС, АЭС, ВЭС (ветряные электрические станции), СЭС (солнечные электрические станции) Это обусловлено развитием технологий, позволяющих снизить вред экологии как всей страны, так и мира.

Оценив существующие источники, выделены достоинства и недостатки ЕЭС [2, 3].

Основные достоинства: оптимизация распределения нагрузки между электростанциями в целях сокращения расхода топлива; поддержание высокого уровня надёжности и отказоустойчивости энергетических объединений; быстрое реагирование на внештатные ситуации во время неисправностей на распределительных сетях.

Недостатки: слабость межсистемных и системообразующих связей в энергосистеме; отклонения частоты генерируемой электроэнергии; дороговизна оборудования и сетей электропередачи.

На данный момент развитие Единой энергетической системы набирает обороты, необходимо увеличить мощности генерации энергии. Именно поэтому в Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики описаны перспективы развития, ключевой целью которой является – построение совместной, крупнейшей в мире рыночной платформы для торговли электроэнергией.

### Источники

1. Перспективы объединения энергосистем ЕЭС/ОЭС и УСТЕ [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.soups.ru/index.php?id=ips\\_ups\\_ucte](https://www.soups.ru/index.php?id=ips_ups_ucte) (дата обращения 28.02.2022).

2. Mendeleev D. I., Galitskii Y.Y., Marin G.E., Akhmetshin A.R. Study of the work and efficiency improvement of combined-cycle gas turbine plants // E3S Web of Conferences. 2019. vol. 124. article number 05061. DOI 10.1051/e3sconf/201912405061.

3. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-92.

УДК 621.51

## КОМПРЕССОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ГАЗОТУРБИНЫХ И ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

А.С. Черкасов<sup>1</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>Sanekpuer@mail.ru, <sup>2</sup>nizamova\_tes@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Ш. Низамова<sup>2</sup>

Рассмотрены возможные принципы применения компрессорных установок в технологических процессах работы ГТУ и ПГУ имеющих непосредственное практическое применение на производстве.

**Ключевые слова:** осевой компрессор, газотурбинная установка, парогазовая установка, степень сжатия, дожимная компрессорная станция.

В настоящее время в Отечественной энергетике активно внедряются газотурбинные и парогазовые установки. Их применение обусловлено высокими показателями энергоэффективности, то есть низкими удельными расходами условного топлива на производство электрической и тепловой энергии, что в свою очередь связано с высоким термическим КПД комбинированного цикла. Кроме того, данные установки обладают высокой манёвренностью, что делает их применение для работы в условиях неравномерного графика электрической нагрузки, а также изменчивых погодных условиях (что отражается на потребности в тепловой энергии), крайне предпочтительными [1].

Простейшая схема ГТУ состоит из осевого компрессора, камеры сгорания и газовой турбины, соединенной с электрогенератором. ПГУ представляет собой тоже самое, только с добавлением паросиловой части, то есть паровой турбины, парогенератора и необходимого вспомогательного оборудования. Более подробно остановимся на рассмотрении осевого компрессора, как отдельного элемента схемы. Его предназначение заключается в подаче воздуха под давлением в камеру сгорания. Давление, создаваемое компрессором, определяется коэффициентом сжатия, от которого зависит КПД установки в целом. Экспериментально установлено, что наиболее эффективным для увеличения термического КПД цикла Брайтона является степень сжатия равная 10 (см. рисунок), при дальнейшем увеличении данного показателя, рост КПД замедляется, а рост потребления энергии компрессором продолжает расти, что наоборот приводит к уменьшению энергоэффективности установки [2].

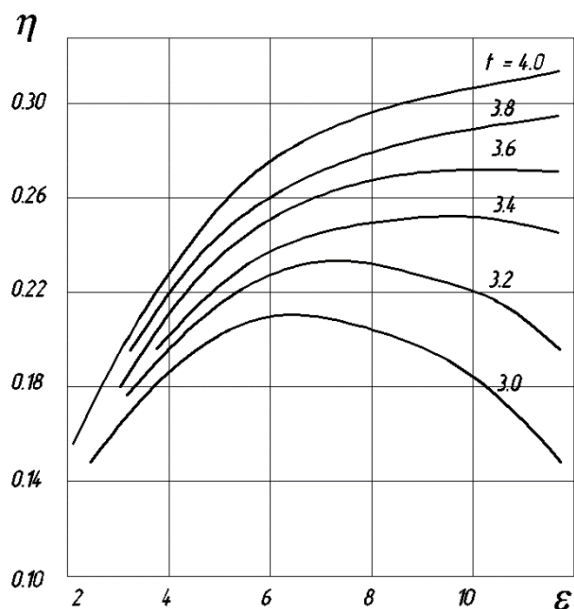


График зависимости КПД цикла Брайтона от степени повышения давления в компрессоре ГТУ

Для обеспечения высокой степени сжатия, при сохранении высокого КПД самого компрессора конструктивно его выполняют многоступенчатым, где каждая ступень состоит из рабочих и сопловых лопаток, при этом с каждой ступенью размер лопаток уменьшается, что обусловлено, уменьшением удельного объема воздуха по мере его сжатия [3]. Применение именно осевых компрессоров в ГТУ связано с возможностью расположения в таком случае компрессора и газовой турбины на одном валу, а также способностью компрессоров данного типа создавать непрерывный поток сжатого воздуха, что требуется для протекания термодинамического цикла Брайтона.

Для работы ГТУ в камеру сгорания кроме воздуха (являющегося окислителем) под большим давлением должно поступать топливо, которым является природный газ. Поскольку снабжение газом ТЭС происходит через ГРП от газовых магистралей, то давление газа в них недостаточно для подачи непосредственно в камеру сгорания [4]. В связи с этим применяются дожимные компрессорные станции, обеспечивающие повышение давления до необходимых параметров [5]. В ДКС могут применяться как осевые, так и центробежные компрессоры, исходя из особенностей технического задания [6].

Таким образом, газотурбинную установку невозможно представить без применения компрессоров различных типов, что означает, для развития газотурбинных технологий необходимо так же развитие компрессоростроения.

### **Источники**

1. Буров В.Д. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: учеб. пособие для вузов. М.: МЭИ, 2009. 570 с.
2. Эккерт Б. Осевые и центробежные компрессоры. М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 2007. 680 с.
3. Блох, Хайнц П. Компрессоры. Современное применение. М.: Техносфера, 2011. 972 с.
4. Брюханов О.Н., Жила В.А., Плужников А.И. Газоснабжение. М., СПб.: Питер, 2008. 448 с.
5. Бухарин Н. Н. Моделирование характеристик центробежных компрессоров. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1983. 214 с.
6. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Ахметшин А.Р. Показатели режимных характеристик парогазового энергоблока ПГУ-110 МВт на частичных нагрузках // Вестник КГЭУ. 2019. № 3 (43). С. 47-56.

## ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ САЛОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛА РАБОТЫ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ф.А. Шайхатдинов<sup>1</sup>, А.Н. Трапезников<sup>2</sup>, А.А. Хохонов<sup>3</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>Farid.Shaihatdinov@kamaz.ru, <sup>2</sup>Aleksey.Trapeznikov@kamaz.ru,

<sup>3</sup>Anton.Hohonov@kamaz.ru, <sup>4</sup>aachichirova@mail.ru

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. А.А. Чичиров, канд. мед. наук, доц. А.А. Филимонова<sup>4</sup>

В соответствии с планами и показателями энергетических стратегий экономически развитых стран новым источником энергии будущего выбран водород. В связи с этим активно развивается направление электрических транспортных средств с водородными топливными элементами.

В предлагаемой статье рассмотрены этапы разработки проекта по отоплению салона автобуса в холодное время года за счет теплоты, выделяющейся в результате работы водородного топливного элемента. Кратко описаны основные компоненты водородного электрического транспортного средства, приведены основные компоненты системы отопления.

**Ключевые слова:** водород, автобус, система отопления, топливные элементы.

В современном развитии электрического транспорта основной драйвер – это состояние мировой экологии и прогнозы ее развития. Так как в состав парниковых и выхлопных газов входят такие компоненты, как СО, СО<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> [1–3], то следует логический вывод о необходимости исключения их из факторов, влияющих на состояние экологии. Одним из способов решения проблемы является переход на электро- и водородный транспорт. Согласно данным аналитических агентств в мире наблюдается рост продаж электромобилей [4–6] и в данном направлении лидирующей тройкой являются Tesla, Volkswagen Group и BYD.

Отечественные автопроизводители, ПАО «КАМАЗ» в том числе, так же занимаются разработкой коммерческого транспорта на электрической тяге, в том числе и на топливных элементах [7]. Причина интереса к водородной системе получения электроэнергии для транспортных средств заключается в необходимости обеспечить суточные пробеги, что приводит к серьезному увеличению снаряженной массы энергоаккумулирующей системы и снижению массы транспортируемого груза, чего не наблюдается при использовании топливных элементов. Состав основных компонентов электрического транспортного средства на топливных элементах приведен на рис. 1 [8].



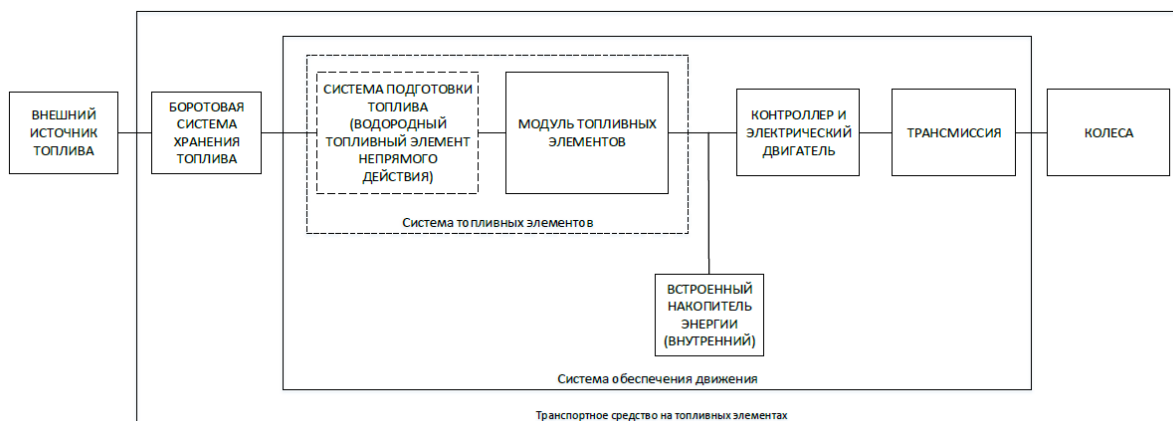


Рис. 1. Схема транспортного средства на топливных элементах

Для условий России одним из наиболее актуальных вопросов при проектировании пассажирского транспорта является разработка система отопления. В случае использования водородной системы с топливными элементами кроме электроэнергии выделяется тепло, которое можно эффективно утилизировать для обогрева салона водоробуса. При разработке системы отопления салона за счет тепла работы топливного элемента необходимо учесть следующие особенности:

- тепловой режим работы энергоустановки с учетом эффекта деградации топливных элементов;
- особенности конструкции системы охлаждения энергоустановки;
- рабочие параметры работы системы охлаждения (температура охлаждающей жидкости, расход, мощность на привод насосов, тепловая мощность).

На рис. 2 представлена общая схема системы отопления салона, принцип действия которой состоит из циркуляции специальной охлаждающей жидкости для топливных элементов между системами охлаждения и топливными элементами. При необходимости обогрева салона теплоноситель через циркуляционный насос направляется в климатическую систему автобуса и далее тепло рассеивается с помощью отопителей салона. Затем жидкость возвращается в систему охлаждения и цикл повторяется.

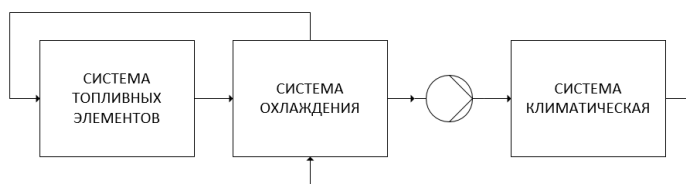


Рис. 2. Схема системы отопления салона

Таким образом, приведенная схема является способом повышения энергоэффективности транспортного средства за счет использования тепла работы топливного элемента и организации оптимального теплообмена с окружающей средой. Преимуществом является отсутствие дополнительных электрических подогревателей для системы отопления салона.

### **Источники**

1. Зиганшин М.Г. Методика оценки эффективности генерации на тепловых электрических станциях с учетом выброса загрязнителей // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21(6). С. 29-38.

2. Гафуров А.М., Осипов Б.М., Гатина Р.З., Гафуров Н.М. Возможные пути снижения выбросов углекислого газа // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19 (9-10). С. 21-31.

3. ГОСТ Р 41.83-2004 (Правила ЕЭК ООН N 83). Единообразные предписания, касающиеся сертификации транспортных средств в отношении выбросов вредных веществ в зависимости от топлива, необходимого для двигателей.

4. Аналитики прогнозируют двукратный рост мирового рынка электромобилей в 2021 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.autostat.ru/news/49694/> (дата обращения 12.03.22).

5. Мировые продажи электромобилей удвоились в 2021 году – лидером рынка остаётся Tesla [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dtf.ru/hard/1063184-mirovye-prodazhi-elektromobiley-udvoilis-v-2021-godu-liderom-rynka-ostaetsya-tesla> (дата обращения 12.03.22).

6. Global market share of electric cars more than doubled in 2021 as the EV revolution gains steam [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://electrek.co/2022/02/02/global-market-share-of-electric-cars-more-than-doubled-2021/> (дата обращения 12.03.22).

7. ПЕРВЫЙ ВОДОРОБУС ОТ «КАМАЗА» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.comtransexpo.ru/news/pervyy-vodorobus-ot-kamaz> (дата обращения 12.03.22).

8. ГОСТ Р 56188.1-2014/IEC/TS 62282-1:2010. Технологии топливных элементов. Часть 1. Терминология.

## ВЛИЯНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПОДАЧИ ТОПЛИВА НА РАБОТУ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Д.Р. Шафиев<sup>1</sup>, А.Н. Трапезников<sup>2</sup>, Д.А. Агарков<sup>3</sup>, А.В. Самойлов<sup>4</sup>, С.И. Бредихин<sup>5</sup>  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, <sup>3,4,5</sup>ИФТТ РАН, г. Черноголовка

<sup>1</sup>Damir.Shafiev@kamaz.ru, <sup>2</sup>Aleksey.Trapeznikov@kamaz.ru, <sup>3</sup>agarkov@issp.ac.ru,  
<sup>4</sup>samoilov@issp.ac.ru, <sup>5</sup>bredikh@issp.ac.ru

Науч. рук. канд. мед. наук, доц. А.А. Филимонова

В настоящей работе рассмотрено влияние расхода топлива на работу твердооксидных топливных элементах. Определены наиболее благоприятные управляющие параметры, влияющие на стабильность работы топливного клапана.

**Ключевые слова:** топливные элементы, твердооксидные топливные элементы, расход топлива, стабильность, метан.

В настоящее время одним из трендов развития автомобильного транспорта является переход к электрической тяге с применением расширителей пробега и даже основных энергетических установок на базе технологии топливных элементов для кратного увеличения пробега. К топливному клапану, как одному из основных компонентов энергоустановки на топливных элементах автомобильного применения, предъявляются повышенные требования по надежности, вибрационной устойчивости, стабильности рабочих характеристик. С точки зрения рабочего процесса в энергоустановке на твердооксидных топливных элементах, расход топлива оказывает следующее влияние [1–3]:

– расход метана, как преимущественного первичного топлива для твердооксидных топливных элементов, оказывает влияние на температуру газов. От температуры газов зависит скорость прогрева батареи твердооксидных топливных элементов, зависящая также от совпадения коэффициентов термического расширения материалов. В противном случае неверное значение скорости прогрева/охлаждения приведет к растрескиванию материалов топливного элемента и ускоренной деградации;

– недостаточная подача топлива может привести к образованию сажи и, следовательно, к ускоренной деградации батареи топливного элемента;

– от температуры газов также зависит процесс риформинга метана, т.е. образование вторичного (основного) топлива в виде смеси монооксида углерода и водорода (синтез-газ), на котором и работает твердооксидный топливный элемент и батареях на их основе;

– регулируя соотношение метан/воздух можно регулировать тепловой поток в дожигателе газов из энергоустановки.

Для проведения исследовательских испытаний приведены следующие расчетные расходы топлива на рабочем режиме работы:

- массовый расход 0,551 кг/ч;
- объемный расход 770 Нл/ч;
- температура 20 °С;
- давление потока метана 20 бар.

К стендовым испытаниям был подготовлен топливный клапан с давлением от 0 до 34 бар, с диапазоном расхода от 0 до 0,000149 кг/с (от 0 до 750 Нл/ч), с частотой управляющего сигнала широтно-импульсной модуляции (ШИМ) 500–2000 Гц.

Целями испытаний заложено проведение исследований по четырем контрольным точкам (см. таблицу).

Соотношения давления и расхода газа

Давление потока, бар	2	5	12	20
Расход метана, Нл/ч	65	163	390	650

В ходе испытаний топливный клапан испытывался с помощью азота при входном давлении 23 бар, а выходное давление контролировалось с помощью контроллера в соответствии с заданными значениями. По результатам испытаний подтверждена стабильная работа топливного клапана во всем диапазоне давлений от 2 до 20 бар.

Таким образом, объем выполненных работ и полученные результаты дают основание к продолжению исследовательских испытаний в составе энергоустановки на транспортном средстве.

### Источники

1. Яковенко Р.Е., Ильин В.Б., Савостьянов А.П. Получение водородсодержащего газа для питания твердооксидных топливных элементов риформингом синтетического дизельного топлива // Электрохимия органических соединений. ЭХОС-2018: тез. докл. XIX Всерос. совещания с межд. участием. Новочеркасск: «НОК», 2018. С. 149-150.

2. Смородова О.В., Китаев С.В., Ерилин И.С. К проблемам использования природного газа в качестве топлива для твердооксидных топливных элементов // Norwegian Journal of Development of the International Science. 2018. № 17-1. С. 51-54.

3. Влияние различных факторов на распределение температуры в батарее твердооксидных топливных элементов / А.К. Демин, А.Ю. Чуйкин, М.Ю. Горшков [и др.] // Электрохимическая энергетика. 2013. Т. 13. № 4. С. 187-191.

## **Секция 2. ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА. ЭКСПЛУАТАЦИЯ И НАДЕЖНОСТЬ ЭНЕРГОУСТАНОВОК И СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

УДК 681.2.082

### **ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ**

Т.Р. Абдуллин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

abdullin.t.r\_25@kgeu.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. Кондратьев

Продление срока эксплуатации трубопроводов и оборудования является важным аспектом современной энергетики. Известно множество способов технической диагностики технологического оборудования, из которых наиболее удобным и достоверным можно назвать вибрационную диагностику. В статье описан один из видов систем контроля состояния.

**Ключевые слова:** разрушающий контроль, виброакустическая диагностика, трубопроводы, газопроводы.

Магистральные, технические трубопроводы и газопроводы оцениваются как комплекс пожаро- и взрывоопасных объектов, представляющих угрозу экологической безопасности, здоровью и жизни людей. Из-за неудовлетворительного технического состояния более 20 тысяч километров трубопроводов эксплуатируется при сниженных давлениях в сравнении с проектными.

На внутрипромысловых трубопроводах на нефте- и газодобыче почти 95 % отказов приходится на коррозию внутритрубной и наружной поверхности. Ежегодно только на промышленных трубопроводах происходит до 40 тыс. аварий [1].

Для минимизации рисков порчи оборудования, повышения срока нормальной эксплуатации оборудования и локализации проблемных, наиболее подверженных ускоренному износу участков, проводится диагностика трубопроводов. На данный момент разработано множество методов выполнения этой процедуры без демонтажа и вскрытия оборудования [2].

В работе представлен пример использования одного из методов неразрушающего контроля - виброакустическая диагностика.

Суть данного типа диагностики является в измерении и обработке вибрационного или акустического сигнала, создающегося работающим оборудованием, течением жидкости или газа, или возбуждённого искусственно [3].

На рисунке представлена схема разработанной экспериментальной установки для виброакустической диагностики с искусственным возбуждением акустического сигнала с помощью динамика.

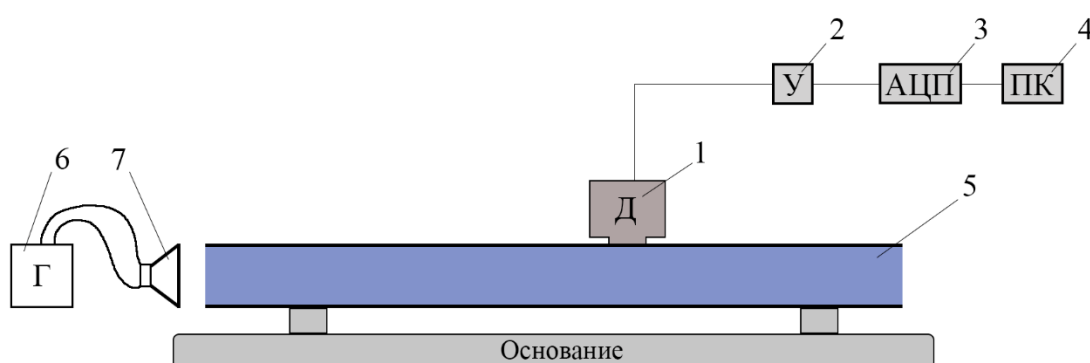


Схема экспериментальной установки для виброакустической диагностики:

1 – пьезоэлектрический датчик; 2 – усилитель сигнала; 3 – аналогово-цифровой преобразователь; 4 – персональный компьютер; 5 – исследуемый трубопровод; 6 – генератор частоты; 7 – акустический динамик

Для проведения экспериментов используется прецизионный датчик KD-35а. Прецизионный датчик KD-35а применяется при высокоточных ответственных измерениях [4]. Возбуждение колебаний в трубе производится с помощью акустического динамика – преобразователя волн определённой частоты и амплитуды, подключенного к генератору низкочастотных сигналов. Испытываемый трубопровод находится на одной оси с акустическим динамиком.

Перед проведением исследуемый трубопровод плотно закрепляется на массивном основании, после этого подключается пьезодатчик к аналогово-цифровому преобразователю (АЦП) и к ПК [5]. С помощью акустического динамика и генератора низких частот производится возбуждение колебаний в воздушном столбе трубопровода, которые вызывают колебания стенок трубопровода.

На стенку испытываемого трубопровода установлен плотно прилегающий пьезоэлектрический вибрационный датчик, реагирующий на вибрационные колебания, которые далее усиливаются и обрабатываются аналогово-цифровым преобразователем и выводятся на экране персонального компьютера в графическом виде.

### **Источники**

1. Загретдинов А.Р., А.Е. Кондратьев, Ваньков Ю.В. Разработка прибора и методики ударно-акустического контроля многослойных композиционных конструкций // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2013. № 9-10. С. 97-104.

2. Gaponenko S.O., Kondratiev A.E. Device for Calibration of Piezoelectric Sensors // Procedia Engineering: International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017. P. 146-150.

3. Установка для калибровки пьезоэлектрических датчиков / С.О. Гапоненко, А.Е. Кондратьев, Е.Е. Костылева, А.Р. Загретдинов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. № 7-8. С. 79-86.

4. Оценка технического состояния подшипников качения виброакустическим методом / М.В. Акутин, Ю.В. Ваньков, А.Е. Кондратьев, Ю.Я. Петрушенко // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2009. № 2. С. 55-57.

5. Разработка методики определения размера коррозионного поражения оболочек акустическим методом / Ш.Г. Зиганшин, Ю.В. Ваньков, А.Е. Кондратьев, С.П. Кузнецов // Энергосбережение и водоподготовка. 2009. № 1(57). С. 36-38.

УДК 620.92

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

А.А. Азнабаева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

aznabaz@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. Кондратьев

В статье изложена основная информация о геотермальной энергии Земли, являющейся альтернативным источником энергии. Представлены виды геотермальной энергии, методы преобразования геотермальной энергии в электрическую, преимущества геотермальных станций.

**Ключевые слова:** геотермальная энергетика, метод преобразования, геотермальная электростанция, энергоснабжение.

В настоящее время множество ученых из разных стран находятся в поиске альтернативных источников энергии, одним из которых является геотермальная энергия Земли. Учитывая усиленное использование углеводородного топлива, геотермальная энергетика является перспективной разработкой, при этом геотермальная энергия уже существует как теплота, и не требует сжигания углеводородного топлива. Как следствие, инвестиции в эту сферу оправдают себя в ближайшие годы.

Геотермальная энергетика – альтернативный источник энергии, использующий возобновляемые ресурсы, источником которого является магма Земли. Магма раскалена до предела, поэтому запасы тепла практически неисчерпаемы. Геотермальные месторождения размещены в основном в районах недавнего вулканизма [1].

Для обеспечения теплом домов и других промышленных предприятий используется геотермальная энергия. Это и есть один из основных методов использования геотермальной энергии. Вторым методом, но не по значимости, является непосредственно получение электроэнергии. Если после всех этапов конденсационная вода остается вполне хорошим качестве, то ее возвращают обратно в землю или же передают в водоемы. В иных случаях, при наличии влажного пара, его выделяют, после чего используют для вращения турбин [2].

Преобразование геотермальной энергии в электрическую энергию, в зависимости от температуры среды, делится на следующие методы:

- 1) прямой метод, который основан на использовании сухого пара;
- 2) непрямой метод; данный метод используется с водяным паром, температура воды которой более 180° С;
- 3) смешанный метод, применяется при наличии смеси воды с иными жидкостями [3].

Основной задачей данного энергоснабжения является получение энергии из недр земли, которая обеспечивает выработку недорогого электричества.

Преимущества геотермальных электростанций:

1. Экологическая безопасность объектов при эксплуатации.
2. Высокие запасы мощности.
3. Невысокий уровень цен.
4. Низкие издержки на сервис установок [4].

Согласно ситуации на 2019 г. в ряде европейских государств построены и запущены несколько станций суммарной мощностью приблизительно 75 МВт. Через 5 лет обозначенный объем намереваются довести до уровня в 17 ГВт. Главная ставка делается на Индонезию, Турцию, Кению и Филиппины, потому что в этих странах разработка данного природного источника проводится более интенсивно. Ученые предвещают, что на протяжении ближайших десятилетий геотермальная энергия составит 1/6 мирового энергетического снабжения [5].



Геотермальная энергия – один из лидирующих среди альтернативных источников энергии. Гидрогеотермальные ресурсы благополучно осваиваются в большом количестве государствах мира для производства электрической энергии и тепла, удовлетворяя при всем этом самые различные потребности хозяйственной работы людей.

Масштабы использования геотермальной энергии постоянно растут, количество стран, успешно использующих эту энергию, также с каждым годом увеличивается. А также использование геотермальной энергии поможет улучшить экологическую обстановку по всей стране, потому что для действующих геотермальных электростанций характерен умеренный уровень выбросов, что значительно меньше выбросов традиционных видов энергетики [6].

Геотермальные ресурсы предполагают собой буквально неисчерпаемые, также которые в свою очередь являются возобновляемыми и экологически чистыми источниками энергии. ГеоТЭС будут играть значительную роль в общей картине энергетике мира.

### **Источники**

1. Исмаилова Г.М., Кондратьев А.Е. Геотермальная энергетика и ее перспективы использования в России и зарубежом // В мире науки и инноваций: сб. статей межд. науч.-практ. конф.: в 8 частях. Пермь: ООО «Аэтерна», 2016. С. 86-88.

2. Алимкулова С.Р. Способ решения проблем энергосбережения в системе теплоснабжения // Научному прогрессу – творчество молодых. 2019. № 2. С. 73-74.

3. Кондратьев А.Е. Особенности построения геотермальной системы теплоснабжения жилого поселка // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: матер. VI Нац. науч.-практ. конф. В 2-х т. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. С. 417-419.

4. Исмаилова Г.М. Геотермальные источники для теплоснабжения дома // Тинчуринские чтения: тезисы докл. XIII молод. науч. конф. В 3-х т. 2018. Т. 2. С. 177-179.

5. Гатауллина И.М. Построение системы теплоснабжения на основе теплового насоса // Тинчуринские чтения: тезисы докл. XIII молод. науч. конф. В 3-х т. 2018. Т. 2. С. 160-162.

6. Гатауллина И.М. Использование тепловых насосов в системах теплоснабжения зданий // Научному прогрессу – творчество молодых. 2018. № 2. С. 71-74.

## АККУМУЛЯТОРЫ ТЕПЛА НА МАТЕРИАЛАХ С ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ

А.Т. Акбуляков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

artur.akbulyakov@mail.ru

Науч. рук. канд. тех. наук, доц. А.Е. Кондратьев

Данная работа предназначена для ознакомления с основными проблемами, связанными с аккумулярованием тепла при проектировании автономных систем теплоснабжения. Так же в статье приведены доводы в пользу использования аккумуляторов на материалах с фазовым переходом.

**Ключевые слова:** аккумуляторы тепла, материалы с фазовым переходом.

Аккумулярование тепла – химические или физические процессы, благодаря которым происходит накопление и хранение тепловой энергии в тепловом аккумуляторе. Аккумуляторами тепла называют устройства, обеспечивающие обратимые процессы накопления, хранения и передачи тепла.

В результате анализа работ выяснилось, что в настоящее время проблема аккумулярования тепла решается по трем направлениям:

- разработка аккумуляторов тепла, использующих для накопления и хранения энергии теплоемкость рабочего тела;
- разработка аккумуляторов тепла, накапливающих энергию благодаря обратимым химическим реакциям или явлениям адсорбции-десорбции;
- разработка аккумуляторов тепла, использующих как теплоемкость рабочего тела, так и теплоту фазового перехода [1].

Во-первых, рабочим телом является вещество, которое охлаждается и нагревается без фазовых переходов. К преимуществам данных аккумуляторов относятся простота конструкции, долговечность рабочего тела и его дешевизна. К недостаткам же относятся малая плотность накопления энергии и изменчивая температура разряда, из-за чего они и не используются для долгосрочного хранения тепла в солнечных системах теплоснабжения [2].

Вторым главным преимуществом является то, что тепло в них может храниться без потерь почти неограниченное количество времени. В данных аккумуляторах тепло хранится в двух (или более) химических компонентах, которые могут в нужный момент времени вступить в экзотермическую реакцию и тем самым начать выделять тепло.

Наиболее весомым преимуществом третьего типа аккумуляторов является постоянная температура разрядки, а также меньший объем по сравнению с теплоемкостными. На наш взгляд именно аккумуляторы на материалах с фазовым переходом целесообразно использовать в системах теплоснабжения, использующих гелиоустановки и действующих круглый год.

Однако следует так же отметить то, что создание таких аккумуляторов тепла сопряжено с определёнными трудностями, например:

- уменьшение срока службы аккумулятора, что является следствием изменения первоначальной структуры рабочего тела в процессе зарядки-разрядки;

- коррозионная активность рабочего тела;

- некоторые материалы с фазовым переходом, которые имеют высокую теплоемкость, не производятся [3].

Из вышеизложенного следует, что создание аккумулятора тепла на материалах с фазовым переходом, освоенных в промышленности, является перспективным и целесообразным.

Так, в работе [4] был разработан и исследован аккумулятор тепла, имеющий в своей конструкции четыре слоя теплоаккумулирующих материалов, одним из которых являлся теплоемкостной материал (трансформаторное масло), и тремя другими – материалы с фазовым переходом (эвтектические смеси нитратов щелочных металлов с органическими добавками). Этот аккумулятор используется в пассивной системе отопления. Односторонняя передача тепла осуществляется благодаря конструкционным и технологическим особенностям данного аккумулятора. О высокой, по сравнению с однослойными аккумуляторами, эффективности говорят данные экспериментов, проведенных в рамках работы Степана Александровича. Отсюда следует, что при сезонном аккумулировании тепла перспективным направлением является использование многокомпонентных материалов с фазовым переходом.

Однако, следует отметить, что использование вышеописанного аккумулятора в автономной системе теплоснабжения, использующей гелиоустановки, без переработки его конструктивных элементов, которые не приспособлены для использования в этой системе параметров, а следовательно, и без дополнительного технико-экономического обоснования его структуры невозможно. По нашему мнению, разработка многослойных аккумуляторов тепла, базирующихся на дешевых материалах с фазовым переходом, является наиболее перспективным путем решения проблемы накопления и хранения тепловой энергии в течении сезона в автономных системах теплоснабжения на гелиоустановках.

Работа выполнена в рамках гос. задания № 075-03-2021-175/3.

## Источники

1. Мхитарян Н.М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. К., Наукова думка, 1999. 314 с.
2. Калинина М.В. Проблемы эксплуатации солнечного коллектора для систем отопления и горячего водоснабжения индивидуального жилого дома в Республике Татарстан // Тинчуринские чтения: тезисы докл. XIII молод. науч. конф. В 3-х т. 2018. Т. 2. С. 181-182.
3. Гатауллина И.М. Построение системы теплоснабжения на основе теплового насоса // Тинчуринские чтения: тезисы докл. XIII молод. науч. конф. В 3-х т. 2018. Т. 2. С. 160-162.
4. Кудря С.О. Системи акумулювання і перетворення енергії відновлюваних джерел: автореф. дис. ... докт. техн. наук. К., 1996. 36 с.

УДК 620.92

## ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Л.Д. Анпилогов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

lev.anpilogov.03@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. Кондратьев

В статье предложены особенности развития солнечной энергетики.

**Ключевые слова:** солнечная энергетика, солнечный коллектор, теплоноситель, тепловая энергия, гелиоустановка.

В современных условиях стремительного развития энергоемких технологий и увеличения энергопотребления все большее значение уделяется альтернативным источникам энергии, одним из которых является солнечная энергетика [1].

На Солнце происходят термоядерные реакции, результатом является колоссальное выделение энергии, часть которой попадает на Землю в виде солнечной радиации, энергию которой можно использовать. Один из способов преобразования энергии Солнца – применение фотоэлектрических элементов, которые служат приемниками солнечной энергии. Основные различия в конструкции: габариты, структура и мощность. Второй способ – преобразование в тепловую энергию, которое происходит благодаря использованию коллекторов различных конструкций и типов. Различают вакуумные коллекторы и плоские конденсаторы. Вакуумные коллекторы – трубчатого вида, под воздействием солнечных лучей, нагревается специальная жидкость, после чего передает свою энергию теплоносителю, этот процесс цикличен.

В свою очередь плоские конденсаторы состоят из теплоизолирующего каркаса и абсорбера. Каркас покрыт стеклом и имеет патрубки входа и выхода теплоносителя [2].

Солнечная энергетика получает все более широкое распространение в мире, Россия не стала исключением. Причинами распространения стало [3]:

- 1) развитие новых технологий,
- 2) желание людей иметь неограниченный источник энергии,
- 3) чистота производства этой энергии,
- 4) возобновляемый источник энергии.

Потенциалом обладают южные регионы нашей страны, так как в этих субъектах РФ лето наиболее долгое. Гелиоколлекторы или так называемые термоэлектрические генераторы, в целом являющиеся гелиотермальными установками нашли широкое применение не только в повседневной жизни, но и на промышленных предприятиях [4].

Известно, что солнечная энергетика обладает такими достоинствами, как экологичность, неисчерпаемость энергии, низкая себестоимость, доступность и хорошие перспективы развития [5].

К недостаткам солнечной энергетике можно отнести прямую зависимость вырабатываемой энергии от погодных условий, времени года и суток, низкий КПД и достаточно высокую стоимость оборудования.

В целом развитие солнечной энергетике обусловлено положительными и отрицательными свойствами гелиоустановок, истощением запасов традиционных источников, стремительным развитием технического прогресса и экологической политики государства в энергетике [6].

### **Источники**

1. Гилязова Г.Р. Перспектива развития солнечной энергетике в России и мире // Тинчуринские чтения-2020: матер. докл. межд. молод. науч. конф. В 3-х т. 2020. Т. 2. С. 85-87.

2. Макуева Д.А. Плоские и вакуумные солнечные коллекторы в системе теплоснабжения // Тинчуринские чтения-2021 «Энергетика и цифровая трансформация»: матер. Межд. молод. науч. конф. В 3-х т. Т. 2. С. 137-139.

3. Камаева Г.Р. Применение солнечных коллекторов для теплоснабжения и горячего водоснабжения жилого помещения // Научному прогрессу – творчество молодых. 2017. № 2. С. 146-147.

4. Калинина М.В. Проблемы эксплуатации солнечного коллектора для систем отопления и горячего водоснабжения индивидуального жилого дома в Республике Татарстан // Тинчуринские чтения: тезисы докл. XIII молод. науч. конф. В 3-х т. 2018. Т. 2. С. 181-182.

5. Гилязова Г.Р., Кондратьев А.Е. Особенности применения солнечных коллекторов для системы отопления // Научному прогрессу – творчество молодых. 2020. № 2. С. 25-27.

6. Фаритова А.А. Использование солнечных коллекторов в Республике Татарстан // Научному прогрессу – творчество молодых. 2018. № 2. С. 147-149.

УДК 62-519

## **УДАЛЕННАЯ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ КАК СОВРЕМЕННЫЙ МЕТОД МОДЕРНИЗАЦИИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ**

И.Ф. Ахметгалиев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

info.ahmet@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. Кондратьев

В работе описаны основные принципы работы систем удаленной диспетчеризации индивидуальных тепловых пунктов и преимущества их использования как современного метода модернизации тепловых узлов.

**Ключевые слова:** удаленная диспетчеризация, автоматизированное регулирование, погодозависимое регулирование, индивидуальный тепловой пункт.

Одними из крупнейших потребителей топливно-энергетических ресурсов в России по-прежнему остаются системы теплоснабжения жилых и общественных зданий. С ростом тарифов на отопление все более остро встает вопрос повышения экономичности работы этих систем. Для решения этого вопроса применяется целый ряд мероприятий, связанных с модернизацией или заменой имеющихся тепловых узлов с использованием современных технологий и погодной автоматики.

На сегодняшний день трудно представить себе какую-либо инженерную систему без возможности электронного управления, что в свою очередь открывает новые возможности, например, ввод систем удаленной диспетчеризации [1].

Система удаленной диспетчеризации представляет собой совокупность аппаратов контроля и регулирования параметров теплоносителя, которая позволяет делать своевременные вмешательства в отопительную систему, чтобы предотвратить отклонения от температурного графика и обеспечить экономичную работу существующего теплового пункта.

Современные системы терморегулирования позволяют оптимизировать работу системы отопления путем снижения затрат на тепловую энергию и путем создания наиболее комфортных условий в помещениях. За правильную и надежную работу подобных систем отвечает контроллер – панель управления. Он обрабатывает полученные данные от всех подключенных температурных датчиков и на основе них подает сигнал на регулирующий клапан, за счет чего и осуществляется регулирование расходы подаваемого в систему теплоносителя [2]. В условиях климата наших широт перепады температур в этот период могут составлять до 15 °С.

Датчики температуры стоят как внутри помещений, так и снаружи здания. Такой принцип управления системой отопления принято называть погодозависимым [3].

Практически все современные индивидуальные тепловые пункты оснащаются системой погодного регулирования, которая работает с поправкой не только на изменение температуры окружающей среды, но и на температуру, изменяющуюся в помещении. Температура устанавливается в автоматическом режиме по заданному температурному графику дифференцировано в зависимости от получаемых данных температурного датчика. Установка и грамотная эксплуатация данной системы в комплексе с приборами учета тепловой энергии обеспечит экономичную работу отопительных приборов.

До внедрения подобных систем автоматики регулирование и контроль отдельных взятых тепловых узлов занимал значительное время. Сейчас же даже локализация аварийного участка не требует большого количества времени, за счет систем неразрушающего контроля. Сигналы об авариях также подаются на общий блок управления, откуда информация передается диспетчеру в режиме реального времени, что позволяет незамедлительно принимать меры по их устранению.

При правильном применении и использовании современных средств автоматики системы диспетчеризации откроют новые возможности по точному контролю параметров теплоносителя, позволят вести электронные журналы внештатных ситуаций и внесенных изменений в работу оборудования, что в свою очередь позволит прогнозировать предаварийные ситуации и своевременно проводить ремонт или замену оборудования теплового пункта, а также вести анализ причин возникновения неисправностей [4]. При этом все вышеперечисленные возможности никак не ограничивают возможность дальнейшей модернизации и внесения изменений в конструкцию теплового пункта. Количество передаваемой информации системой удаленной диспетчеризации ничем не ограничено, кроме накопительных возможностей носителей информации самого оператора, что может позволить вести статистику о работе теплового пункта в долгосрочной перспективе [5].

Таким образом системы внедрение современной системы удаленной диспетчеризации позволит не только повысить удобность обслуживания и контроля работы теплового пункта, в том числе через смартфоны, практически не требуя наличия диспетчера на рабочем месте, но и обеспечить комфортные условия внутри помещений, а также повысить экономичность работы системы отопления здания в целом [6].

### **Источники**

1. Алимкулова С.Р. Автоматизация индивидуальных тепловых пунктов // Тинчуринские чтения-2019: тезисы докл. XIV молод. науч. конф. В 3-х т. 2019. Т. 2. С. 75-78.
2. Сабирова Л.Р. Особенности применения индивидуальных тепловых пунктов в городе // Тинчуринские чтения: тезисы докл. XIII молод. науч. конф. В 3-х т. 2018. Т. 2. С. 203-205.
3. Ахметзянова Л.Г. Комплексная модернизация тепловых пунктов в системах централизованного теплоснабжения // Научному прогрессу – творчество молодых. 2017. № 2. С. 106-108.
4. Сабирова Л.Р. Построение автоматизированного индивидуального теплового пункта на основе искусственного интеллекта // Научному прогрессу – творчество молодых. 2019. № 2. С. 164-166.
5. Алимкулова С.Р. Эффективность применения автоматизированного индивидуального теплового пункта // Тинчуринские чтения: тезисы докл. XIII молод. науч. конф. В 3-х т. 2018. Т. 2. С. 150-151.
6. Кондратьев А.Е., Алимкулова С.Р. Анализ эффективности внедрения индивидуальных тепловых пунктов в систему теплоснабжения // Энергетика и энергосбережение: теория и практика: сб. матер. IV Всерос. науч.-практ. конф. Кемерово: КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева, 2018. С. 142.1-142.2.



## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ УЗЛОВ ЖИЛЫХ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ

И.Ф. Ахметгалиев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

info.ahmet@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. Кондратьев

В статье изложены современные методы модернизации тепловых узлов жилых многоквартирных домов с использованием систем погодозависимого регулирования автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов (АИТП).

**Ключевые слова:** АИТП, погодное регулирование, погодозависимое регулирование, элеваторный узел.

Сфера систем обогрева жилых и общественных зданий довольно старая, поэтому изобретение кардинально новых вариантов и решений является сложно выполнимой задачей. В то же время из года в год остается проблема экономичности и повышения эффективности систем отопления старых жилых многоквартирных домов. В связи с этим совершенствование и модернизация существующих систем отопления является приоритетной задачей.

Основными проблемами для многих систем отопления по прежнему остается наличие осенне-весенних перетоков и рост тарифов на тепловую энергию, что связано с нерациональным использованием тепла в жилых зданиях [1]. В условиях климата наших широт перепады температур в этот период могут составлять до 15 °С.

Современные тепловые пункты оснащаются системой погодного регулирования – очень надежный новейший способ контроля подачи тепловой энергии, повышающий экономичной отопительной системы в целом. Работает она с поправкой не только на изменение температуры снаружи помещения, но и в зависимости от изменений температуры в самом помещении. Температура устанавливается автоматически по заданному графику температур дифференцировано в зависимости от получаемых данных температурного датчика. Установка и грамотная эксплуатация данной системы в комплексе с приборами учета тепловой энергии обеспечит экономичную работу отопительных приборов [2].

Совокупность всех этих устройств называется АИТП – автоматизированный индивидуальный тепловой пункт. Модернизация имеющегося теплового пункта здания до АИТП позволит автоматически регулировать величину расхода теплоносителя в подающем трубопроводе и поддерживать температурный режим помещения в соответствии с температурой наружного воздуха [3].

Одним из методов модернизации теплового узла является замена эжекторного узла автоматизированным водоструйным аппаратом с регулируемым соплом (АВАРС, см. рисунок). Эксплуатируемые на сегодняшний день отопительные системы в основном оснащены чугунными и стальными водоструйными элеваторами, которые не дают возможность регулирования температуры теплоносителя в индивидуальных тепловых пунктах в ходе отопительного сезона.

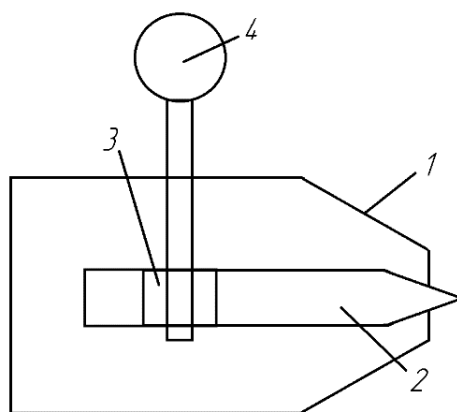


Схема аппарата АВАРС

Аппараты АВАРС отличаются от вышеуказанных аппаратов тем, что на серийно выпускаемом эжекторе (не имеющем возможность регулирования) устанавливается регулирующийся исполнительный механизм, состоящий из конфузора (1), в котором помещена регулирующая конусная игла (2), и зубчатой шестерни (3), перемещающей иглу в продольном направлении посредством направляющего аппарата. Вращение шестерни и перемещение конусной иглы может осуществляться с помощью электрического привода (4), которым управляет программируемый контроллер, что позволяет автоматически в реальном времени изменять подачу теплоносителя в систему.

Существует также альтернативный способ модернизации ИТП, хорошо зарекомендовавший себя как надежный способ сокращения затрат энергопотребления и монтажа – это смесительные узлы автоматического погодного регулирования (СУАПР), которые позволяют в полной мере использовать технические преимущества АИТП.

Все необходимые настройки производятся с СУАПР еще на этапе производства и не требуют дополнительной настройки на объекте. Интеллектуальный контроллер, которым он оснащен, управляет электроприводом запорно-регулирующего клапана исходя из полученного сигнала датчиков температуры (наружный воздух, подающий и обратный трубопроводы) [4].

Основная разница при выборе способа регулирования – это скорость реагирования системы на изменяющиеся условия. Традиционные термостаты реагируют на изменения температуры внутри отапливаемого помещения, но не может заранее предупреждать чрезмерный нагрев, сопутствующий изменению температуры наружного воздуха. Современные системы автоматического регулирования решают данную проблему, позволяя достичь более точного регулирования всей отопительной системы дома в целом [5].

Погодозависимая автоматика работает напрямую в зависимости от изменений параметров внешней среды, и вне зависимости от тепловой изоляции интенсивность отопления напрямую определяется температурой за окном, что позволяет повысить экономичность работы отопительной системы в целом.

### **Источники**

1. Горбунов К.Г. Проект перехода на индивидуальные тепловые пункты в сфере теплоснабжения // Инженерные кадры - будущее инновационной экономики России. 2019. № 1. С. 43-45.

2. Алимкулова С.Р. Автоматизация индивидуальных тепловых пунктов // Тинчуринские чтения: тезисы докл. XIV молод. науч. конф. В 3-х т. 2019. Т. 2. С. 75-78.

3. Сабирова Л.Р. Особенности применения индивидуальных тепловых пунктов в городе // Тинчуринские чтения: тезисы докл. XIII молод. науч. конф. В 3-х т. 2018. Т. 2. С. 203-205.

4. Ахметзянова Л.Г. Комплексная модернизация тепловых пунктов в системах централизованного теплоснабжения // Научному прогрессу – творчество молодых. 2017. № 2. С. 106-108.

5. Сабирова Л.Р. Построение автоматизированного индивидуального теплового пункта на основе искусственного интеллекта // Научному прогрессу – творчество молодых. 2019. № 2. С. 164-166.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

А.Д. Беленкова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

1ne.dassa@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. Кондратьев

В статье рассмотрены вопросы применения солнечной энергии для получения электрической и тепловой энергии. В настоящее время энергетика базируется в основном на сжигании невозобновляемых элементов, применение солнечной энергетики значительно улучшит экологическую обстановку.

**Ключевые слова:** солнечная энергетика, горючие ископаемые, солнечный коллектор, солнечная электростанция.

Энергии солнечного излучения, поступающей на земную поверхность в течение 90 мин, вполне достаточно, чтобы обеспечить потребности всей планеты в энергии на один год. Несмотря на этот факт, в настоящее время солнечная энергия составляет незначительную долю в мировом энергетическом балансе. Однако из года в год этот вопрос становится все более популярным. Разрабатываются новые высокоэффективные технологии использования солнечной энергии, строятся солнечные электростанции, появляются новые инновационные продукты с использованием солнечной энергии как основного источника питания [1].

В настоящее время прогрессивная энергетика считается топливной и более чем на 90 % основывается на применении химических топлив на базе природных горючих ископаемых: нефти, газа и угля, запасы которых в конечном счёте сведутся к минимуму. Это определяет, с одной стороны, необходимость сбережения энергии и разработку результативных способов добычи и переработки всех дешёвых ресурсов топлив, а с иной – разведка свежих источников энергии и получение на их базе синтетических топлив. Речь идет о синтезе с расходом энергии препаратов, которые возможно было бы применить в качестве комфортного для употребления искусственного происхождения горючего [2].

Более экономичным видом выработки энергии является энергетика Солнца. Большой рост надобности в материалах происходит благодаря масштабному использованию солнечной энергии, а также в трудовых ресурсах для добычи сырья и его обогащения, выработки материалов, изготовление гелиостатов, коллекторов [3].

Такие факторы, как эффективность, экономичность или надежность, являются определяющими при выборе наиболее подходящей солнечной технологии. Постоянно растет потребность в увеличении производства электроэнергии за счет постройки новых электростанций, так как спрос на электроэнергию с течением времени непрерывно растет. В настоящее время многие правительства и организации по всему миру активно участвуют в финансировании использования возобновляемых источников энергии, таких, как энергия ветра и солнца, в энергетических системах [4].

В первую очередь, перспективы развития солнечной энергии основаны на развитии научно-производственной базы в рамках сырья, изготавливаемых для обеспечения энергетики Солнца.

Крупным потребителем энергии является Россия, для которой актуальна разработка личного энергетического комплекса, а также получение продукта. Эффективность развития промышленности энергоснабжения Солнца в России снижается, благодаря расположению страны в северной области, где солнечное излучение ниже 900–1000 КВт/м<sup>2</sup>. Благодаря электростанциям частных инфраструктур экономика Российской Федерации со временем будет расти.

Финансовая эффективность стоит на первом месте при строительстве солнечных электростанций, ведь в основном потребители, которые пользуются дешевой энергией на базе ископаемого топлива, находятся на северной части страны. На данный момент рост систем частного энергообеспечения, которое продается в центральную часть, получается наиболее экономичным [5].

Обычные электростанции превышают среднегодовую электрическую мощность на 2–3 порядка, чем солнечная электростанция (СЭС). Также себестоимость традиционных промышленностей гораздо ниже, чем энергия, вырабатываемая на СЭС, что заставит Россию увеличивать вложения денежных средств в проекты, такие, как совместное использование с тепловыми насосами [6]. И в заключении, Россия не обладает оборудованием, потому что для строительства СЭС применяются иностранные технологии, что ставит нас в зависимость от других стран. Однако дальнейшее развитие отечественных технологий позволит наладить массовое производство солнечных батарей и значительно увеличить масштабы использования солнечной энергетики.

## Источники

1. Алимкулова С.Р. Способ решения проблем энергосбережения в системе теплоснабжения // Научному прогрессу – творчество молодых. 2019. № 2. С. 73-74.
2. Исмаилова Г.М., Кондратьев А.Е. Геотермальная энергетика и ее перспективы использования в России и зарубежом // В мире науки и инноваций: сб. статей межд. науч.-практ. конф.: в 8 ч. Пермь: ООО «Аэтерна», 2016. С. 86-88.
3. Анастасьева Д.А. Перспектива использования солнечной энергетика для получения тепловой энергии // Научному прогрессу – творчество молодых. 2017. № 2. С. 96-98.
4. Камаева Г.Р. Применение солнечных коллекторов для теплоснабжения и горячего водоснабжения жилого помещения // Научному прогрессу – творчество молодых. 2017. № 2. С. 146-147.
5. Калинина М.В. Проблемы эксплуатации солнечного коллектора для систем отопления и горячего водоснабжения индивидуального жилого дома в Республике Татарстан // Тинчуринские чтения: тезисы докл. XIII молод. науч. конф. В 3-х т. 2018. Т. 2. С. 181-182.
6. Гатауллина И.М. Технология устройства снегоплавильных станций на основе применения тепла сточных вод // Тинчуринские чтения: тезисы докл. XIV молод. науч. конф. В 3-х т. 2019. Т. 2. С. 104-107.

УДК 621.311.22

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНДЕНСАЦИОННОЙ ТУРБИНЫ С УЧЕТОМ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

К.Н. Бубнов

ФГБОУ ВО «ИГЭУ им. В.И. Ленина», г. Иваново  
kirill.bubnov.96@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. В.П. Жуков

В статье предложена математическая модель паровой турбоустановки (ПТУ), позволяющая рассчитывать ее показатели энергетической эффективности при различных схемах включения регенеративных подогревателей. Представлены результаты моделирования, выполненного на основании разработанной математической модели для ПТУ К-300-240 ЛМЗ, и осуществлен их статистический анализ, который продемонстрировал приемлемую точность их совпадения с типовыми энергетическими характеристиками турбины данного типа.

**Ключевые слова:** математическая модель, матричная модель, паровая турбина, переменный режим.

Вид суточного графика электрической нагрузки, неравномерность которого определяется непрерывными подключениями и отключениями большого количества потребителей, оказывает огромное влияние на формирование режимов работы и, следовательно, экономичность генерирующего оборудования, обеспечивающего покрытие данного графика электрической нагрузки. Как правило, для покрытия полупиковой части графика электрической нагрузки применяют генерирующее оборудование конденсационных энергоблоков тепловых электростанций. Для обеспечения высокой экономичности энергоблока, а также паровой турбоустановки (ПТУ) при покрытии суточного графика электрической нагрузки необходимо произвести выбор состава энергетического оборудования и определить наиболее экономически выгодный и надежный технологический режим работы основного и вспомогательного оборудования.

В связи с этим заслуживает внимания разработка математической модели ПТУ, позволяющей на ее основе осуществлять эффективный выбор состава и режимов работы оборудования. Таким образом, целью данной работы является разработка математической модели ПТУ, позволяющей рассчитывать энергетические характеристики с учетом различных схем включения регенеративных подогревателей.

В соответствии с единой методологией матричной формализации [1] и на основании аналитических зависимостей внутреннего относительного КПД отсеков проточной части от относительного массового расхода пара [2] разработана математическая модель ПТУ К-300-240 ЛМЗ. В отличие от математической модели теплофикационной турбоустановки [2], где система регенерации была представлена в виде одного смешивающего подогревателя, математическая модель ПТУ К-300-240 ЛМЗ позволяет рассчитать тепловую схему, в состав которой входят семь подогревателей поверхностного типа и один смешивающий подогреватель (деаэратор питательной воды). Кроме того, для расчета давления пара в отборах турбины была использована формула Флюгеля-Стодолы [3].

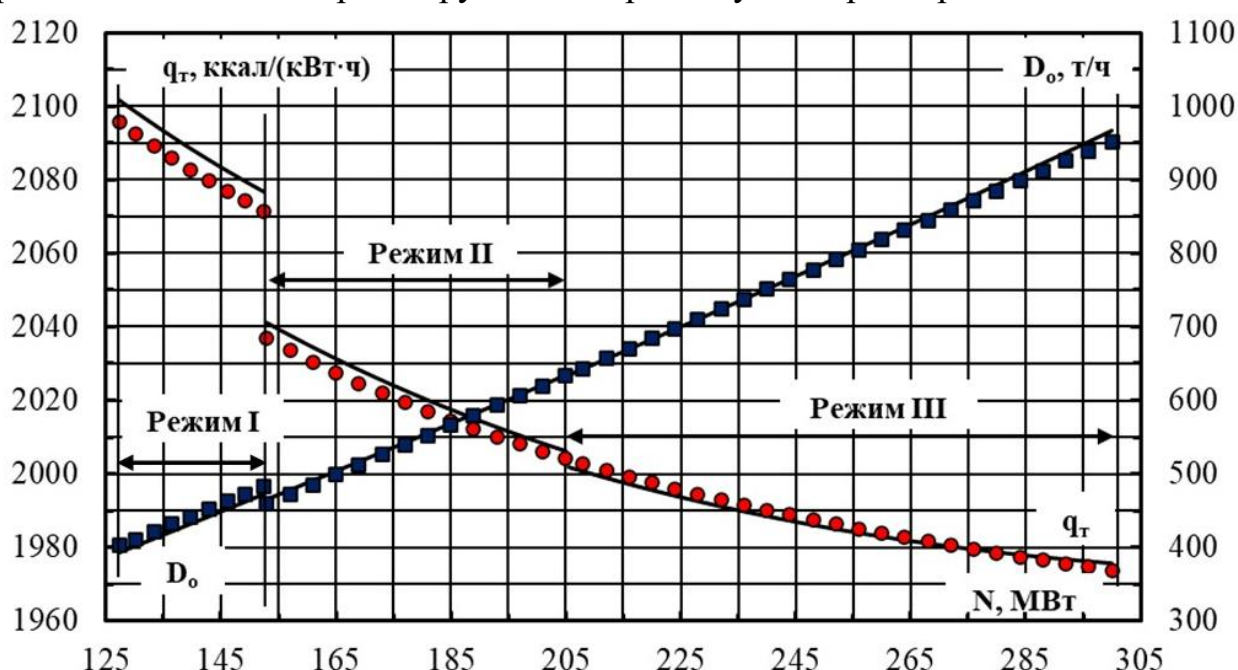
Применительно к ПТУ К-300-240 ЛМЗ были рассмотрены три следующих режима.

1. Режим I –  $N_{\text{Э}} \in (N_{\text{min}}=127,3 \div N_{\text{max}}=152,5)$  МВт: деаэратор питательной воды (Д-7) подключен по пару к третьему отбору турбины; подогреватель высокого давления (ПВД-3) отключен.

2. Режим II –  $N_{\text{Э}} \in (N_{\text{min}}=152,5 \div N_{\text{max}}=205,0)$  МВт: деаэратор питательной воды (Д-7) подключен по пару к третьему отбору турбины; подогреватель высокого давления (ПВД-3) в работе.

3. Режим III –  $N_{Э} \in (N_{\min}=205,0 \div N_{\max}=300,0)$  МВт: деаэратор питательной воды (Д-7) подключен по пару к четвертому отбору турбины; подогреватель высокого давления (ПВД-3) в работе.

Статистический анализ приведенных данных позволяет заключить, что представленные результаты расчета (см. рисунок) демонстрируют хорошее согласование расчетных и фактических данных, взятых из типовой энергетической характеристики [4], на всем диапазоне изменения электрической нагрузки от 127,3 до 300 МВт. При этом величина среднего относительного отклонения расчетных данных от фактических не превышает 3 % для часового расхода свежего пара на турбину и удельного расхода тепловой энергии брутто на выработку электроэнергии.



Расчетные (линии) и нормативные (точки) зависимости часового расхода свежего пара и удельного расхода тепловой энергии брутто на выработку электроэнергии от электрической мощности ПТУ К-300-240 ЛМЗ

Таким образом, на основе матричной формализации расчета тепловой схемы как многопоточной энергообменной системы была разработана математическая модель ПТУ К-300-240 ЛМЗ, позволяющая с приемлемой точностью рассчитывать ее энергетические характеристики с учетом различных схем включения регенеративных подогревателей.

### Источники

1. Жуков В.П., Барочкин Е.В. Системный анализ энергетических тепломассообменных установок. Иваново, 2009. 176 с.



2. Методика расчета энергетических характеристик теплофикационной турбины с учетом экономичности части низкого давления / К.Н. Бубнов, А.Е. Барочкин, В.П. Жуков, Г.В. Ледуховский // Вестник ИГЭУ. 2020. Вып. 2. С. 5-13.

3. Самойлович Г.С., Трояновский Б.М. Переменные и переходные режимы в паровых турбинах. М.: Энергоиздат, 1982. 496 с.

4. Типовая энергетическая характеристика турбоагрегата К-300-240 ЛМЗ: РД 34.30.713. М.: Союзтехэнерго. 1976. 30 с.

УДК 697.34:681.85

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ ЗАТВОР ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ В ANSYS CFX

Р.Ш. Валиев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

rimzilvaliev@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Р. Загретдинов

В статье предложен способ моделирования течения рабочей среды через затвор трубопроводной арматуры в программном комплексе ANSYS.

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, запорная арматуры, герметичность.

Трубопроводная арматура – важнейший элемент теплоэнергетических систем. Обеспечение исправного состояния арматуры необходимо для постоянного регулирования и распределения рабочей среды [1]. Устройство, которое обеспечивает герметичность при перекрытии потока рабочей среды – затвор запорной трубопроводной арматуры.

Для обеспечения надежности и работоспособности арматуры необходимо осуществлять контроль основного показателя её качества – герметичности [2]. Утечки в затворе арматуры не имеют внешних признаков, но их можно выявить с помощью анализа и регистрации виброакустических сигналов. Даже при небольшом перепаде давления малый размер течи через дефект затвора образует турбулентный поток рабочей среды.

Для моделирования потока через арматуру можно воспользоваться программным комплексом ANSYS CFX [3, 4]. Рассматриваемая модель (рис. 1) представляет собой участок трубопровода, повторяющая проходное сечение полностью открытого затвора арматуры. Первым шагом при моделировании является построение геометрической модели канала. Создание 3D модели производится в разделе CFX – Geometry – DesignModeler.

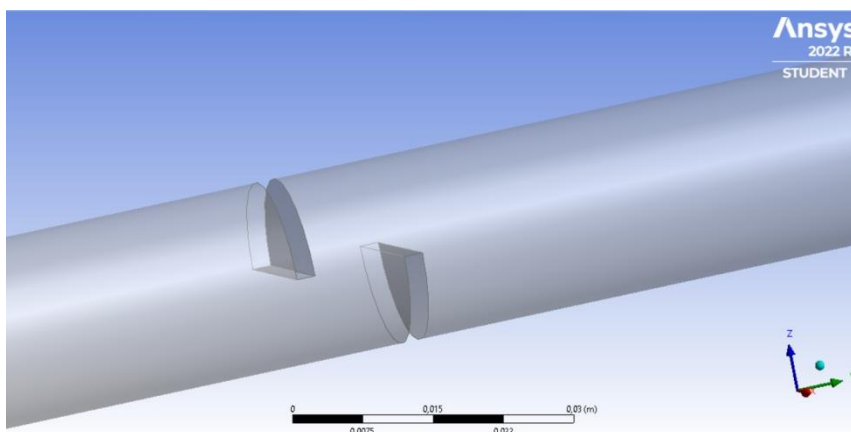


Рис. 1. Трехмерная модель исследуемого участка трубопровода

В подразделе Mesh создается сетка исследуемого объекта. На данном этапе областям присваиваются имена, задаются граничные условия в пункте Inflation и размеры элементов сетки в пункте Face Sizing (рис. 2).

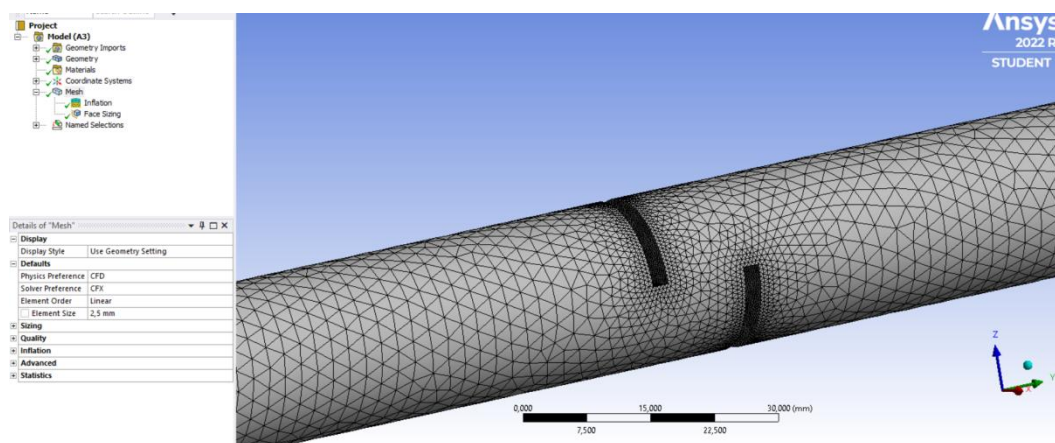


Рис. 2. Построение сетки исследуемого участка трубопровода

Далее запускается решатель CFX – Pre, в котором задаются основные параметры для расчета: метод расчета, тип жидкости, массовый расход жидкости, материал трубопровода, количество итераций и т.д. После того как все необходимые параметры внесены, запускается CFX – Solver Manager, где начинается расчет и построение графика сходимости решения.

Следующий этап – вывод результатов расчета в необходимом нам виде. В разделе CFD-Post создается плоскость, на котором отображается векторное поле скоростей текущей жидкости (рис. 3).

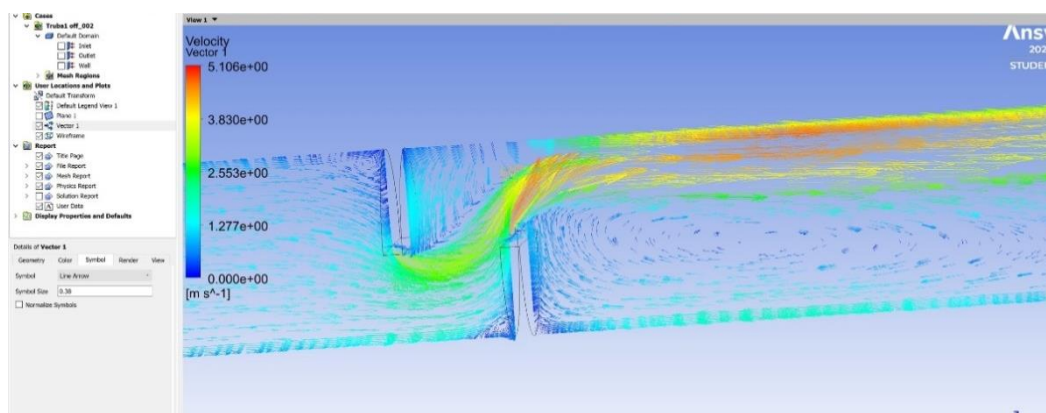


Рис. 3. Визуализация течения потока жидкости

Таким образом, расчеты в программном комплексе ANSYS позволяют визуализировать картину течения рабочей среды при нарушении герметичности затвора трубопроводной арматуры. Планируется использовать CFX – моделирование для интерпретации результатов экспериментальных исследований, представленных в статье [5].

### Источники

1. Виссарионова Е.К. Особенности применения методов виброакустической диагностики для анализа работоспособности арматуры газонефтепроводов // Технические университеты: интеграция с европейскими и мировыми системами образования: матер. VIII Межд. конф. 2019. С. 171-177.

2. Пиксаев В.Д. Проверка запорной арматуры на герметичность при помощи акустико-эмиссионного течеискателя // Аллея науки. 2017. Т. 3. № 10. С. 344-347.

3. Хайбуллина А.И., Ильин В.К. Повышение эффективности теплообмена в системах смазки насосно-силовых агрегатов // Вестник КГЭУ. 2016. № 3(31). С. 103-112.

4. Исследование влияния дефектов на собственные частоты колебаний деталей энергетических установок / Владимиров О.В., Загретдинов А.Р., Ившин И.В., Низамиев М.Ф. // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2015. № 5-6. С. 66-74.

5. Гильманова А.А. Контроль герметичности затвора трубопроводной арматуры по изменению показателя Хёрста виброакустических сигналов // Инновационные аспекты развития науки и техники. 2021. № 7. С. 11-15.

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО СЛОЯ ПЕНОПОЛИУРЕТАНА (ППУ) ПРЕДИЗОЛИРОВАННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

К.И. Валиуллин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

valiullin99@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Р. Вилданов, канд. техн. наук, доц. А.Ш. Низамова

В статье рассматриваются вопросы оперативно-дистанционного контроля трубопроводов в пенополиуретановой изоляции.

**Ключевые слова:** оперативно-дистанционный контроль, система ОДК, пенополиуретановая изоляция.

В эксплуатации, пульт дистанционного управления в системе оперативно-дистанционного контроля (ОДК) предназначен для оценки текущего состояния полиуретана для изоляционного слоя изолированных трубопроводов и обнаруживается в зонах повышенной влажности изоляции [1].

К важным действиям системы ОДК включают:

- 1) высокоуровневую автоматизацию нахождения скрытного процесса;
- 2) автономность;
- 3) места нахождения повреждений на скрытном месте;
- 4) надежность и защита системы от сбоев при любых условиях работы;
- 5) недорогие затраты на компоненты системы;
- 6) простота использования.

Обновленные за это время две системы ОДК стали общими: первый принцип работы основан на законе Ома (размещения участка повреждений (увлажнение теплоизоляции) можно найти, как связь длины контролируемого трубопровода к длине разрушения на промежутке длины), а второй принцип работы основан на нахождении импульса (нахождение различных волновых сопротивлений в контрольных проводах); неоднородность возникает при увлажнении теплоизоляции, но только при отделении сигнального провода [4].

Мы можем экстренно уведомить человека, который несёт ответственность лично перед рабочей группой в экстренной ситуации, и он может получить уведомление для него в комфортном режиме (на веб-сайте единого операторского пульта, по почте, мобильнику, оператору и т.д.) [3].

Другие ситуации для рассмотрения также предоставляются согласно с графиком, согласованным у рабочей группы. В рабочей группе вам необходимо убедиться, что в комнате стоит необходимая техника, обеспечивающая безотказное электропитание и соответствующий показатель GSM-сигнала в области установки в детекторе и дистанционном GSM-контроллере (при необходимости используйте ретранслятор). Возможность механизации процесса информирования о трубопроводах тепловых сетей в экстренных ситуациях, например, можно применить оборудование, которое может использоваться только для теплотрасс, оборудованных СОДК [2].

С внедрением и доставкой необходимой установки, для возможности получения удаленных показаний о состоянии труб в изоляции ППУ, позволит нам получать данные, вовремя и надёжно, и даст повысить экономическую эффективность этого направления [5, 6].

### **Источники**

1. Система оперативного дистанционного контроля [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://tmb-spb.ru/sistema-odk> (дата обращения 21.02.2022).

2. Системы дистанционного контроля состояния ППУ трубопроводов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.energsovet.ru/entech.php?idd=60> (дата обращения 21.02.2022).

3. Оперативно-дистанционный контроль трубопроводов в ППУ-изоляции [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=6](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6) (дата обращения 21.02.2022).

4. Система оперативного дистанционного контроля (ОДК) увлажнения изоляции [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tvelteploross.ru/sistema-odk> (дата обращения 21.02.2022).

5. ООО «Термолайн». Альбом технических решений по проектированию систем оперативно-дистанционного контроля трубопроводов в пенополиуретановой изоляции. М., 2014 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://система-одк.рф/tehbibl/albom-tekhnicheskikh-resheniy/> (дата обращения 21.02.2022).

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

## **ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ЭНТРОПИЙНОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ВИБРОДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

С.О. Гапоненко

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

sogaponenko@yandex.ru

В статье представлен новый метод контроля технического состояния трубопроводов. Практическая значимость работы заключается в разработке и изготовлении программно-аппаратного комплекса для контроля технического состояния трубопроводов. Для работы программно-аппаратного комплекса в среде LabVIEW разработано и создано программно-техническое обеспечение с оригинальным пакетом прикладных программ, которое выполняет обработку и анализ вибродиагностических сигналов с применением нескольких энтропийных показателей.

**Ключевые слова:** диагностика, трубопровод, контроль технического состояния, энтропийная параметризация, вибродиагностический сигнал.

Актуальность данного исследования заключается в повышении качества оценки технического состояния и диагностики трубопроводов. Полученная информация позволяет достоверно оценить техническое состояние трубопроводов, определить безопасные технологические режимы работы оборудования, установить необходимость и порядок изъятия участков трубопроводов для ремонта [1]. В последние годы развитие трубопроводного транспорта было связано с широким использованием как металлических, так и неметаллических трубопроводов из пластмасс и композитов, которые обладают многими преимуществами. Основными недостатками трубопроводов являются неоднородность физико-механических свойств и наличие таких дефектов, как расслоение, растрескивание (трещины), крупнозернистость структуры, неклеяемость, выгорание, пористость, усадочные оболочки и различные механические повреждения поверхности. В связи с этим разработка новых подходов к контролю и получение достоверной информации о техническом состоянии трубопроводов особенно актуальна [2].

Программно-аппаратный комплекс для контроля технического состояния трубопроводов на основе методов энтропийной параметризации вибродиагностических сигналов состоит из устройства возбуждения механических колебаний, исследуемого трубопровода и блока обработки сигналов с оригинальным пакетом прикладных программ. Данный комплекс позволяет провести исследования на трубопроводах разных размеров и материалов. Регистрация вибродиагностических сигналов осуществляется посредством установки пьезоэлектрических датчиков на наружной поверхности трубопровода [3, 4].

Структурная схема предлагаемого технического решения и фотография установки показаны на рис. 1 и 2, соответственно.



Рис. 1. Структурная схема

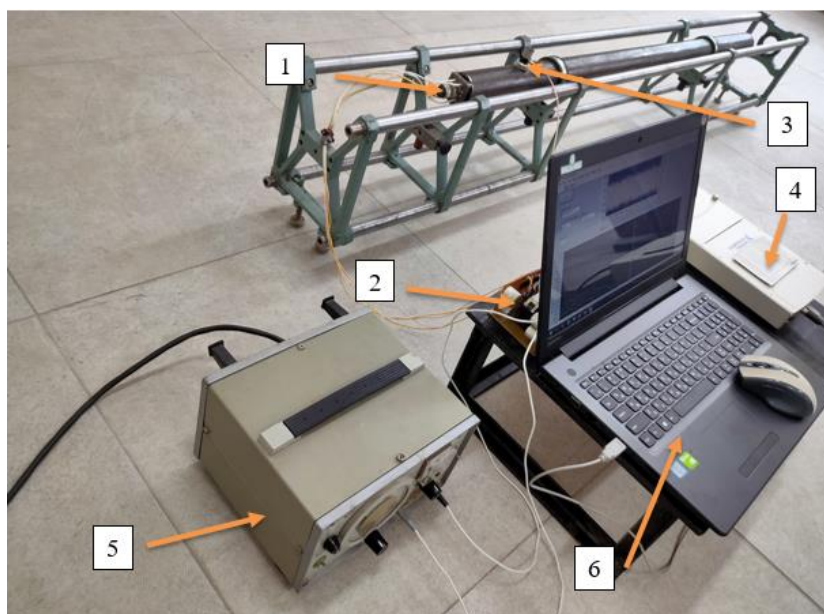


Рис. 2. Фотография программно-аппаратного комплекса для контроля технического состояния трубопроводов на основе методов энтропийной параметризации вибродиагностических сигналов:

- 1 – устройство возбуждения; 2 – усилитель; 3 – чувствительный элемент (пьезоэлектрический датчик); 4 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП); 5 – генератор низкочастотных сигналов; 6 – персональный компьютер (ПК)

После проведения экспериментальных и теоретических исследований необходимо сравнить полученные результаты и оценить степень их сходимости, которая определит работоспособность предлагаемого технического решения для контроля технического состояния трубопроводов на основе методов энтропийной параметризации вибродиагностических сигналов [5].

### **Источники**

1. Гапоненко С.О. Программно-аппаратный комплекс на основе теоретического моделирования и экспериментального исследования зависимости энтропийных виброакустических параметров линейно-протяженных энергетических объектов от их технического состояния // Тинчуринские чтения: матер. XIV Межд. молод. науч. конф. В 3-х т. 2019. Т. 2. С. 3-6.

2. Гапоненко С.О. Разработка комплексной методики контроля технического состояния инженерных коммуникаций на основе математического моделирования и экспериментальных исследований // Научному прогрессу – творчество молодых. 2020. № 2. С. 17-20.

3. Гапоненко С.О. К вопросу использования энтропийной параметризации вибродиагностических сигналов для контроля технического состояния трубопроводов // Энергия-2021: 16-я всерос. (8-я межд.) науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. Иваново: ИГЭУ им. В.И. Ленина, 2021. С. 8.

4. Гапоненко С.О. Метод контроля технического состояния трубопроводов на основе цифрового анализа вибродиагностических сигналов // Научному прогрессу – творчество молодых. 2021. № 2. С. 77-79.

5. Шакурова Р.З., Кондратьев А.Е., Гапоненко С.О. Энтропийная параметризация вибрационных характеристик в технической диагностике // Научному прогрессу – творчество молодых. 2021. № 2. С. 177-179.



## КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ЗАВИСИМОСТЕЙ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ ОТ ПЛОТНОСТИ И ТОЛЩИНЫ ОТЛОЖЕНИЙ

Е.В. Гарнышова<sup>1</sup>, Е.В. Измайлова<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>garnyshova@mail.ru, <sup>2</sup>evgeniya-izmailova@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков

В статье описаны результаты моделирования и расчета элемента трубопровода в программной среде ANSYS, для выявления зависимостей собственных частот колебаний трубопроводов от плотности и толщины отложений. Своевременный контроль состояния тепловых сетей методом свободных колебаний, выявление и очистка отложений повышает их надежность, продлевает срок службы, а также снижает производственные затраты.

**Ключевые слова:** трубопровод, контроль, метод свободных колебаний, отложения, собственные частоты колебаний, программная среда ANSYS.

Образующиеся на внутренней поверхности трубопроводов отложения являются продуктами физико-химических процессов, они влияют на их пропускное сечение, скорость течения теплоносителя, снижают коэффициент теплопередачи, эффективность теплообмена и как следствие происходят существенные потери энергии. Стоимость замены трубок теплообменников и котлов незначительно меньше стоимости нового оборудования. Целью исследования является разработка методики контроля состояния трубопроводов тепловых сетей методом свободных колебаний [1], заключающийся в следующем. При ударе по поверхности контролируемого изделия в нем возникают механические колебания, которые преобразуются в электрический сигнал датчиком, регистрируются, проводится их спектральный анализ. Наличие отложений изменяет толщину, массу поверхностей, следовательно, и собственные частоты колебаний.

Для выявления зависимостей собственных частот колебаний трубопроводов от плотности и толщины отложений был смоделирован в программной среде ANSYS элемент трубопровода (рис. 1) длиной 400 мм, диаметром 159 мм, толщиной 4 мм, и проведены расчеты собственных частот колебаний [2, 3]. В качестве материала трубы была использована структурная сталь.

В табл. 1 предоставлены некоторые собственные частоты колебаний чистой трубы [4]. Сначала была смоделирована чистая труба, далее добавлены на нее отложения с разной плотностью и толщиной.

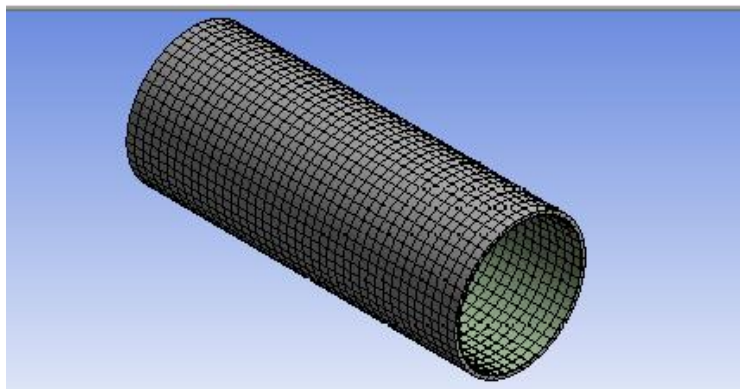


Рис. 1. Смоделированная труба

Таблица 1

Собственные частоты колебаний чистой трубы

№ моды	Частота, Гц	№ моды	Частота, Гц
1	1418,8	50	6222,8
10	2529	75	8092,7
25	4450,9	100	9290,7

В качестве отложений были взяты оксиды кальция и железа, характеристики которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики отложений, использованных в ANSYS

Характеристики	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Плотность, г/см <sup>3</sup>	3,37	7,8
Модуль Юнга, дин/см <sup>2</sup>	2,0–2,5·10 <sup>11</sup>	21,2·10 <sup>11</sup>
Коэффициент Пуассона	0,25	0,29

В табл. 3 представлены некоторые собственные частоты колебаний трубы с разной толщиной отложений оксида кальция, в табл. 4 – оксида железа. На рис. 2 приведен график зависимости собственных частот колебаний трубы с отложениями оксида кальция от номера моды, на рис. 3 – с отложениями оксида железа.

Таблица 3

Частоты колебаний трубы с разной толщиной отложений оксида кальция

№ моды	Частота, Гц				
	Толщина отложений, мм				
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
1	1518,6	1611	1698,7	1783,4	1866,5
10	2924,7	3255,8	3398,2	3531,1	3654,7
25	4879	5345,7	5860,7	6226,5	6577,4
50	7302,8	8026,5	8879,9	9751,8	10284
75	9030,6	9993	10737	11462	12272
100	10644	11593	12332	13402	14396

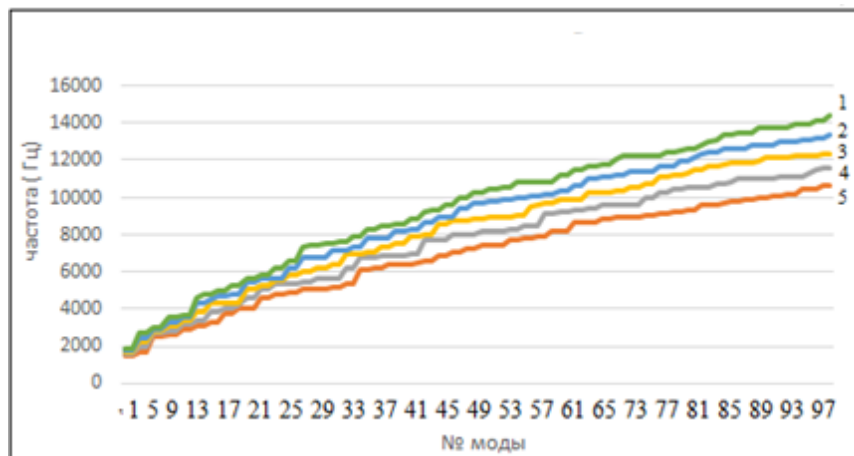


Рис. 2. Частоты колебаний трубы с отложениями оксида кальция:  
1 – 2,5 мм; 2 – 2,0 мм; 3 – 1,5 мм; 4 – 1,0 мм; 5 – 0,5 мм

Таблица 4

Частоты колебаний трубы с разной толщиной отложений оксида железа

№ моды	Частота, Гц				
	Толщина отложений, мм				
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
1	1449,1	1480,6	1513,5	1548,2	1584,8
10	2771,1	2994,9	3029,7	3065,7	3101,6
25	4628,3	4942,3	5200,5	5383,8	5565,1
50	6917,3	7319,3	7879,4	8427,8	8764
75	8558,8	9116,7	9580,2	9935	10409
100	10088	10618	10989	11622	12190

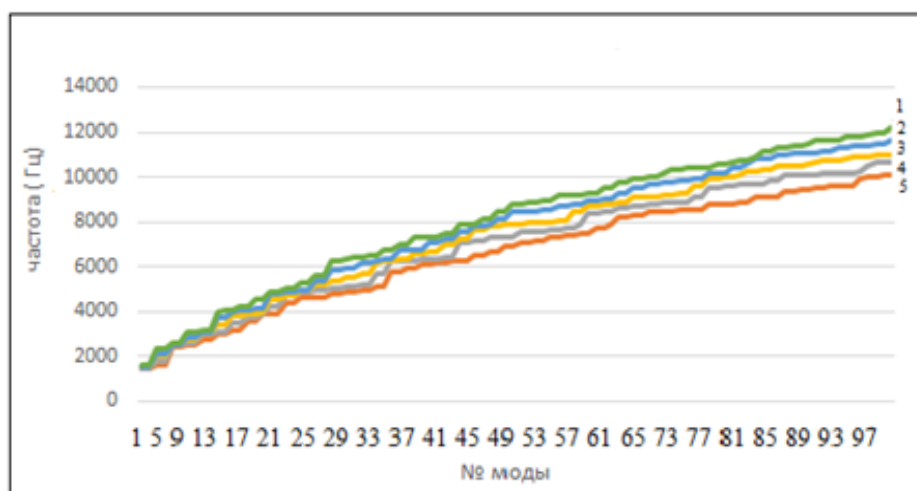


Рис. 3. Частоты колебаний трубы с отложениями оксида железа:  
1 – 2,5 мм; 2 – 2,0 мм; 3 – 1,5 мм; 4 – 1,0 мм; 5 – 0,5 мм

По полученным данным можно сделать вывод, что с увеличением плотности и толщины отложений возрастают и собственные частоты колебаний конструкции элемента трубопровода.

Таким образом, ранний контроль состояния трубопроводов тепловых сетей, позволяет оценить их техническое состояние, выявить вероятность отказа работы или разрушения. Своевременная чистка отложений повышает надежность трубопроводов и продлевает срок службы, а также снижает производственные затраты.

### Источники

1. Shvetsov I.V., Garnyshova E.V., Izmaylova E.V., Vankov Y.V. Reducing labor input of monitoring condition of heat exchange equipment surfaces // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 939 (2020) 012072. doi:10.1088/1757-899X/939/1/012072.

2. Измайлова Е.В., Гарнышова Е.В., Ваньков Ю.В. Определение информативных критериев для контроля трубопровода с применением ANSYS // Сб. трудов VI Нац. науч.-практ. конф. «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и ЖКХ». Казань: КГЭУ, 2020. Т. 1, С. 413-416.

3. Гарнышова Е.В., Измайлова Е.В. Применение ANSYS для определения частот колебаний трубопровода // Труды XXVII Межд. науч.-техн. конф. М.: НИУ МЭИ, 2021. С. 319.

4. Гарнышова Е.В., Измайлова Е.В., Ваньков Ю.В. Оценка толщины отложений на внутренней поверхности теплообмена по затуханию собственных колебаний // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 4. С. 106-114.

## ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ

П.Е. Глухова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

she\_is\_pauline@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. Кондратьев

В статье рассмотрены вопросы применения геотермальной энергетики, которая опирается на применении тепловой энергии Земли, а также её преимущества и недостатки. Представлены виды геотермальной энергии, методы преобразования, основные особенности её использования.

**Ключевые слова:** геотермальная энергетика, тепловой насос, принцип работы насоса «земля-вода».

Рациональное использование энергоресурсов остаётся одним из главных направлений мировой экономики. Прогрессирующее загрязнение окружающей среды различными вредными веществами, нерациональное использование природных ресурсов невозобновляемыми источниками энергии и др. определяет низкую эффективность хозяйственного комплекса. Представленная проблема относится к отопительной отрасли, на долю которой приходится большая часть всех затрат топлива. Доступным решением для повышения эффективности системы отопления является использование тепловых насосов с источниками низкопотенциальной теплоты [1].

Геотермальная энергетика – это чистая энергия тепла Земли (магмы), полученная путём использования природного тепла недр Земли для производства энергии на геотермальных электростанциях или же горячего водоснабжения.

Тепловой насос – это прибор, позволяющий передать тепло от более холодного источника энергии к более горячему. Для работы этого устройства требуется внешний источник для выработки тепловой энергии. Таким источником может быть сама природа, а именно энергия ветра, воды или накопленная солнечная и геотермальная активность [2].

Источники низкопотенциальной теплоты бывают искусственного и естественного происхождения. Искусственные источники – промышленные сбросы, бытовые тепловые выхлопы. Естественные источники – почва, водные ресурсы, солнечная энергия [3].

Земля также может использоваться в качестве источника для работы теплового насоса («земля-вода»). Для этого типа насосов характерны три типа теплообменников: корзина - спираль, горизонтальный, вертикальный.

Коллектор – это замкнутый контур, состоящий из труб, по которым под действием насоса движется холодильный агент. Именно коллектор забирает теплоту посредством горизонтально расположенных грунтовых теплообменников. Так работают горизонтальные геотермальные машины [4].

В вертикальном геотермальном насосе теплообменник имеет вид U – образного колена, который вертикально погружен в скважину. В этом механизме антифриз циркулирует по трубам, предоставляя теплоту земли с глубины. Такие системы можно установить компактно и быстро.

Следующий вид – это группа теплоприемников как «корзина - спираль». Они способны сочетать в себе свойства горизонтального и вертикального способа установки теплообменника. Этот тип не требует глубокого бурения скважин и занимает меньше площадь если сравнивать с горизонтальным коллектором [5].

Преимущества: неограниченность источника для работы насоса, надёжность – не требует специального контроля и обслуживания, полностью автономен, эффективность – 80 % от установленной мощности, компактность, экологичность.

Недостатки: установка геотермального теплового насоса, необходимость добавления дополнительного источника тепла для местности, где температура ниже  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (тепловой насос может не справиться), желательно иметь трёхфазную электросеть (может произойти падение напряжения, которое в последующем может привести к поломке), возможны большие теплотери при добыче и транспортировке.

Актуальностью темы исследования связана с главным преимуществом геотермальной энергетики – это неограниченность энергии для поддержания работы тепловой машины. Этот вид энергии не зависит от условий окружающей среды и времени года. Строительство геотермальной электростанции экономически выгодно, потому что это сохраняет окружающую среду [6].

Перспектива использования: этот способ доступа к энергоресурсам открывает безграничные возможности с точки зрения экономического использования и потребления. В сочетании с существующими технологиями, этот тип энергии может удовлетворить потребности человека на долгие годы вперёд.

## Источники

1. Исмаилова Г.М., Кондратьев А.Е. Геотермальная энергетика и ее перспективы использования в России и зарубежом // В мире науки и инноваций: сб. статей межд. науч.-практ. конф.: в 8 ч. Пермь: ООО «Аэтерна», 2016. С. 86-88.

2. Гатауллина И.М. Построение системы теплоснабжения на основе теплового насоса // Тинчуринские чтения: тезисы докл. XIII молод. науч. конф. В 3-х т. 2018. Т. 2. С. 160-162.

3. Гатауллина И.М. Технология устройства снегоплавильных станций на основе применения тепла сточных вод // Тинчуринские чтения: тезисы докл. XIV молод. науч. конф. В 3-х т. 2019. Т. 2. С. 104-107.

4. Гатауллина И.М. Использование тепловых насосов в системах теплоснабжения зданий // Научному прогрессу – творчество молодых. 2018. № 2. С. 71-74.

5. Кондратьев А.Е. Особенности построения геотермальной системы теплоснабжения жилого поселка // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: матер. VI Нац. науч.-практ. конф. В 2-х т. Казань: КГЭУ, 2020. С. 417-419.

6. Алимкулова С.Р. Способ решения проблем энергосбережения в системе теплоснабжения // Научному прогрессу – творчество молодых. 2019. № 2. С. 73-74.

УДК 624.042.16

## ПРИМЕНЕНИЯ Z-ОБРАЗНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

Ш.Н. Гуломалиев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

shohrukh.gulomaliev@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков

В данном тезисе рассмотрены способы применения Z-образных компенсаторов для их возможного использования в трубопроводах. Представлены примеры размещения двух компенсаторов на участке Z-образной компенсаторы. Показаны результаты сравнения способов проверки качества Z-образных компенсаторов.

**Ключевые слова:** компенсатор, тепловые сети, z-образный компенсатор, теплоснабжение, тепловые потери, трубопроводы.

Z-образный компенсатор – это система, состоящая из участка трубы с двумя отводами, расположенными в одной плоскости. Данный вид компенсатора представляет собой элемент трубопровода, предназначенный для самокомпенсации температурных расширений (рис. 1) [1].



Рис. 1. Z-образный компенсатор

Суть применения Z-образных компенсаторов заключается в том, что в ходе эксплуатации не требуется вспомогательного оборудования. Z-образные компенсаторы в трубопроводе расширяются из-за высоких температур, и это приводит к разрушению трубопровода в тепловых сетях. Поэтому необходимо вовремя определять исправность трубопровода в тепловых сетях. Расширение Z-образных компенсаторов устраняется с помощью установки гибких элементов, которые информируют о разрушении трубопроводных систем или, по-другому, компенсаторов [2].

Для оценки качества Z-образных компенсаторов применяются следующие виды устройств (рис. 2) [2].

А. Z-образная схема трубопровода с двумя петлями компенсаторов в тепловых сетях.

Б. Z-образные компенсаторы, и их предварительная растяжка в трубопроводе.

В. Z-образная схема трубопровода в рабочем состоянии.



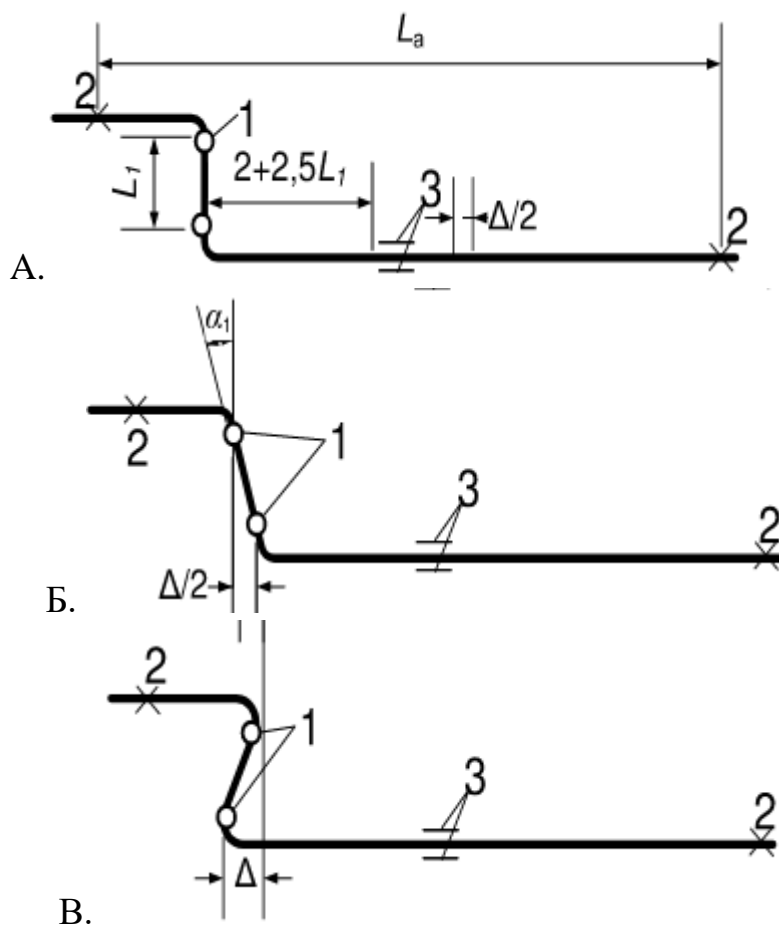


Рис. 2. Z-образная схема трубопровода с двумя петлями компенсаторами:

1 – универсальный компенсатор; 2 – неподвижная опора; 3 – вспомогательная опора;  $L_1$  – расстояние между осями;  $L_a$  – расстояние между неподвижными опорами;  $\alpha_1$  – угол изгиба компенсатора;  $\Delta$  – полная компенсация при полной предварительной растяжке;  $\Delta/2$  – величина предварительной растяжки

Применение Z-образных компенсаторов на участках трубопровода считается необходимым для тепловых сетей. Данный вид трубопровода может не допускать разность температур в окружающей среде, и так же вызывает колебания нагрузки от оборудования во время транспортировки. Проверка надёжности компенсатора будет идти конкретно на трубопроводе, в котором он был отремонтирован. После применения Z-образных компенсаторов на участках трубопровода можно сделать вывод: Z-образные компенсаторы могут стать независимой частью трубопроводной системы [2, 3].

В большой степени в тепловых сетях, применяется самокомпенсация (Z-образный компенсатор), эффективность его использования в эксплуатации считается возможной для всех видов трубопровода.

При проектном решении изготовление Z-образного элемента трубопровода варьируется диаметрами изделия от 32 до 273 мм, что соответствует ГОСТ 30732-2020 [5].

Преимуществами Z-образных компенсаторов перед другими компенсаторами являются: при температурных режимах повышается за счет гибкости труб на участках, где изгибы и повороты, в трассах теплопровода, надежность и простота конструкции, отсутствие необходимости в надзоре и уходе, легкость неподвижных опор при больших усилиях внутреннего давления.

Недостатками являются: пересекающее перемещение колебания участков трубопровода, которое потребуют возрастания ширины непроходных каналов и применении засыпных изоляций в тепловых сетях [4].

После сравнения с линзовыми компенсаторами, Z-образные компенсаторы имеют более высокий интервал допускаемых давлений, огромную компенсирующую способность и значительно маленькие потери усилия, отдающие на неподвижные опоры.

В Z-образных компенсаторах допускается угол изгиба  $1,8-2^\circ$ , что при интервале 0,8–1 м между петлями компенсаторами могут получить компенсирующую способность около 70 мм, исходя из этого их способность самокомпенсации зависит от расстояния между углами и количество волн. [3, 4]

Z-образные компенсаторы, работающие на загруженные плиты, позволяют проводить циклические применения под постоянным давлением и применять недорогое и простое оборудование.

Применение Z-образных компенсаторов считается надежным и экономичным решением в трубопроводах тепловых сетях.

### **Источники**

1. Барочкин А.Е., Горшенин С.Д., Барочкин Ю.Е. Тепловые сети: учеб. пособие. Иваново: ИГЭУ, 2018. 112 с.

2. Бакрунова Т.С. Системы теплоснабжения в тепловых сетях: учеб пособие. Самара: Самар. гос. техн. ун-т. 2011. 73 с.

3. Сибилев М.Г., Виноградова А.С., Жилина Т.С. Применение компенсаторов на трубопроводах при обустройстве кустов скважин // Молодой ученый. 2017. №7. С. 40-46.

4. Z-образный компенсатор в трубопроводах тепловых сетях: пат. 95059 Рос. Федерация № 2009148360/22; заявл. 24.12.2009; опуб. 10.06.2010, Бюл. № 16.

5. ГОСТ 30732-2020. Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитой оболочкой.

## **КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВОГО НАСОСА И СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ**

Р.Р. Даутов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

gluza.dautova@ya.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. Кондратьев

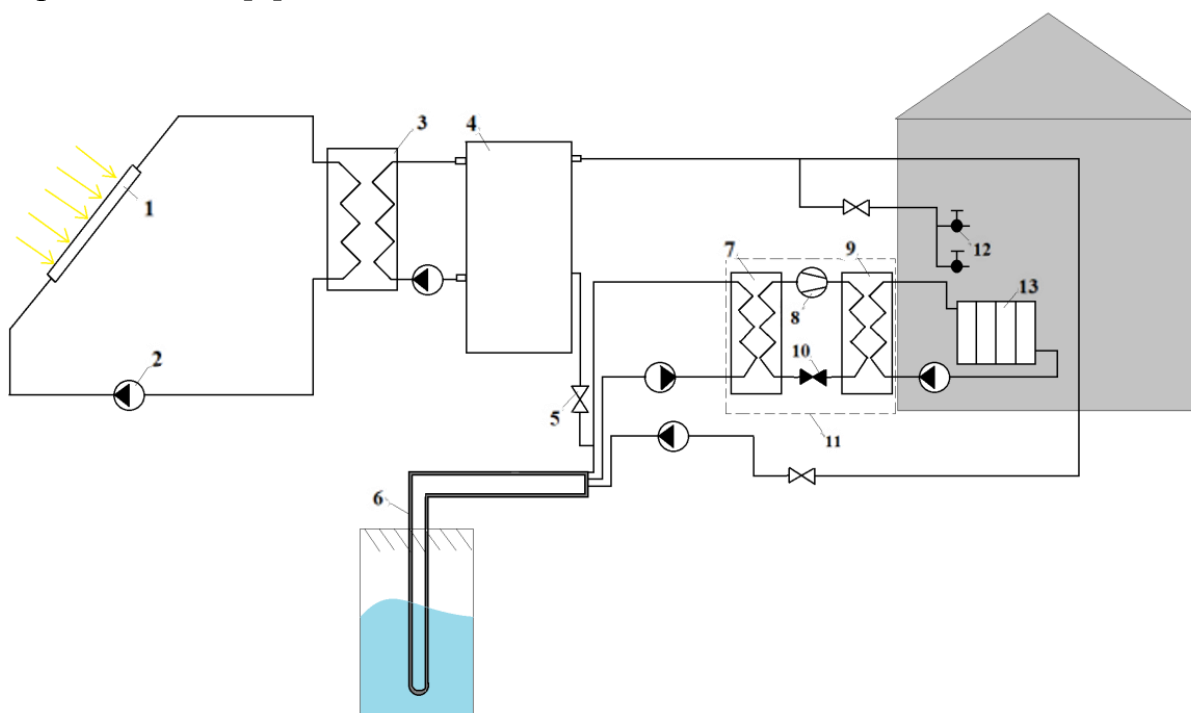
В статье описана система отопления индивидуального жилого здания с помощью геотермального теплового насоса совместно с солнечным коллектором и рассмотрена возможность покрытия тепловой нагрузки с использованием данной комбинированной системы.

**Ключевые слова:** тепловой насос, геотермальное тепло, низкопотенциальное тепло, солнечные коллекторы, альтернативные источники.

Использование возобновляемых источников тепловой энергии в настоящее время является одним из перспективных направлений в энергетике. Применение тепловых насосов (ТН) и солнечных коллекторов (СК) широко распространено во всем мире. В России же эти источники альтернативной энергии только начинают развиваться и внедряться в системы индивидуального отопления. По сравнению с традиционными способами теплоснабжения данные системы решают такие проблемы, как истощение топливных запасов, загрязнение окружающей среды. Кроме этого увеличиваются энергетическая и экологическая эффективности. Стоит отдельно оценить возможность и рентабельность системы комбинированного отопления с помощью теплового насоса и солнечных коллекторов. Как правило, тепловые насосы наиболее эффективны для низкотемпературного отопления. Современные ТН имеют большую тепловую мощность и способны удовлетворить нужды потребителей и в отоплении. Солнечные коллекторы могут обеспечить жилое здание горячим водоснабжением [1].

Солнечный коллектор является устройством для сбора тепловой энергии непосредственно из солнечных лучей. СК нагревает воду для отопления жилого здания и для системы горячего водоснабжения. В настоящее время современные солнечные коллекторы могут нагреть воду до температуры кипения не только в летний период, но даже в условиях отрицательной температуры наружного воздуха [2].

Тепловой насос – это устройство, с помощью которого можно получить высокопотенциальную теплоту из природных источников низкопотенциального тепла. Принцип работы ТН заключается в следующем: холодильный агент (чаще используется фреон) циркулирует в контуре теплового насоса. Он вскипает, от низкопотенциального тепла в испарителе и далее движется в виде пара в компрессор. Здесь происходит процесс сжатия хладагента до высоких значений температуры и давления. Затем он в виде горячего газа направляется во второй теплообменник теплового насоса – в конденсатор. Здесь он отдаёт своё тепло теплоносителю, циркулирующему в системе отопления жилого здания, затем превращается в жидкость. После прохождения хладагента через расширительный клапан, его параметры сбрасываются и цикл повторяется. Буферная емкость в теплообменном контуре необходима для накопления тепловой энергии в период активной работы ТН, а при его выключении поддерживает требуемую температуру и обеспечивает жилое здание горячей водой [3].



Принципиальная схема комбинированной системы отопления с помощью теплового насоса и солнечного коллектора: 1 – солнечный коллектор; 2 - насос; 3 – теплообменник; 4 – бак-аккумулятор; 5 - задвижка; 6 – геотермальный зонд; 7 - испаритель; 8 - компрессор; 9 - конденсатор; 10 – расширительный клапан; 11 - контур теплового насоса; 12 – система ГВС здания; 13 – радиаторное отопление

Принцип работы комбинированной системы отопления с помощью солнечных коллекторов и теплового насоса заключается в следующем (см. рисунок). Во время солнечного сияния тепло радиации передается теплоносителю (воде) при помощи солнечного коллектора 1. Нагретый в СК теплоноситель охлаждается в теплообменнике 3 и направляется в бак-аккумулятор 4 для последующего нагрева. За счет тепла, передаваемого от оптимального низкопотенциального источника – грунтовой воды (температура от 8 до 12 °С круглогодично) с помощью вертикального зонда 6, в испарителе 7 испаряется хладагент, и его пары поступают в компрессор 8. Горячий холодильный агент с температурой от 80 до 85 °С обеспечивает нагрев теплоносителя с помощью конденсатора 9. Нагретая до 65 °С вода поступает в бак-аккумулятор 1 и далее подается к системе отопления 13, и горячего водоснабжения 12 жилого здания. Главной задачей солнечного коллектора в данной системе является нагрев горячей воды в баке-аккумуляторе 4. Когда температура воды достигнет заданного значения, система переключится на нагрев буферного бака системы отопления [4].

Система отопления с тепловым насосом совместно с солнечными коллекторами эффективна и рентабельна с точки зрения эффективности и малых затрат на электроэнергию, также данная комбинация экологична из-за отсутствия потребности в органическом топливе. С помощью теплонасосной и гелиоустановок можно полностью покрыть тепловую нагрузку жилого индивидуального здания и в холодное время года. Однако установка данной системы потребует больших капиталовложений – дороговизна монтажа солнечных коллекторов и бурение скважин для зондов теплового насоса [5].

### **Источники**

1. Гатауллина И.М. Использование тепловых насосов в системах теплоснабжения зданий // Научному прогрессу – творчество молодых. 2018. № 2. С. 71-74.

2. Гилязова Г.Р. Особенности применения солнечных коллекторов для системы отопления // Научному прогрессу - творчество молодых. 2020. № 2. С. 25-27.

3. Даутов Р.Р. Перспективы применения тепловых насосов // VI Всерос. студ. форум «Инженерные кадры - будущее инновационной экономики России». 2020. №5. С. 107-108.

4. Фаритова А.А. Использование солнечных коллекторов в республике Татарстан // Научному прогрессу - творчество молодых. 2018. № 2. С. 147-149.

5. Гатауллина И.М. Построение системы теплоснабжения на основе теплового насоса // Тинчуринские чтения: тезисы докл. XIII молод. науч. конф. В 3-х т. 2018. Т. 2. С. 160-162.

УДК 658.26

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ СБОРА И ВОЗВРАТА КОНДЕНСАТА ПАО «НИЖНЕКАМСКНЕФТЕХИМ»

Ю.В. Жарков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ZharkovYV@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Р. Загретдинов

В работе представлены мероприятия, направленные на усовершенствование системы сбора и возврата конденсата ПАО «Нижнекамскнефтехим».

**Ключевые слова:** конденсат, водяной пар, емкость, качество конденсата, межцеховые коммуникации, химводоочистка, мероприятия, пробоотборные устройства.

На территории ПАО «Нижнекамскнефтехим» расположены восемь заводов (ДБиУВС, БК, СК, ИМ, завод Пластиков, ОиГ, Этилен, СПС (СОП, ЭБС), которые выпускают широкий ассортимент химической продукции. Технология заводов обусловлена существенным потреблением пара, разного давления: 14, 30, 140 ата.

Паровой конденсат, получаемый в паропотребляющих установках производств возвращается на филиал АО «ТГК-16» НКТЭЦ по сети конденсатопроводов цеха межцеховых коммуникаций. Из сети конденсат может использоваться в некоторых цехах на технологические цели, для питания котлов утилизаторов, промывания и (или) заполнения технологического оборудования при капитальных ремонтах, на станции химводоочистки цеха №3408 УВК и ОСВ.

Возврат конденсата на филиал АО «ТГК-16» НКТЭЦ (ПТК-1) по конденсатопроводам МЦК (УЭС) осуществляется с цеховых станций откачки конденсата согласно утвержденным параметрам, прописанных в договоре.

Для недопущения отклонений от установленных норм по качеству и количеству конденсата, технологические цеха, потребляющие пар в процессе производства продукции, должны выполнять следующее:

- не допускать утечек пара и конденсата;
- при каждом ремонте аппарата, производить ревизию конденсатоотводящих устройств с записью в ремонтный журнал;
- не допускать работы конденсатоотводчиков с открытыми байпасами;
- не допускать сброса качественного конденсата, соответствующего договорным параметрам в канализацию;
- следить за состоянием и регулярно ремонтировать теплообменную аппаратуру, обогреваемую паром;
- ежемесячно анализировать процент возврата конденсата по цеху с целью выявления резервов по его увеличению;
- регулярно контролировать качество конденсата согласно ПАК (плана аналитического контроля).
- не направлять конденсат на конденсатную станцию с аппаратов, вышедших из ремонта или вновь смонтированных, без отмывки их и получения положительных результатов анализа в соответствии с ПАК;
- отбор проб конденсата производить только через пробоотборное устройство с постоянным протоком и захолаживанием конденсата до +40°С.
- оперативно находить аппараты, загрязняющие конденсат, отводить от них конденсат в канализацию и производить их ремонт;
- обеспечивать непрерывную и равномерную откачку конденсата;
- постоянно поддерживать избыточное давление 0,2 ата в конденсатных ёмкостях азотом согласно ГОСТ 9293–74 «Азот газообразный и жидкий. Технические условия»;
- регулярно при плановых и неплановых ремонтах проверять герметичность водяной охлаждающей рубашки конденсатных насосов;
- по усмотрению ответственного за качество конденсата – начальника технологического цеха, в зависимости от загрязнения конденсатной системы, но не реже одного раза в год, промывать и пропаривать конденсатные ёмкости поочерёдно, с записью в ремонтный журнал.

Также необходимо обеспечить оснащение станции перекачки конденсата необходимым оборудованием и вспомогательными устройствами, а именно:

- сборными баками в количестве не менее двух;

- уровнемерами и манометрами;
- системой автоматической откачки конденсата;
- пробоотборными устройствами;
- приборами автоматического контроля качества конденсата (ШККК);
- системами захлаживания чистого конденсата до +40 °С.
- системами слива в ХЗК (хим. загрязнённую канализацию) бракованного конденсата.

Перед подачей в магистральный конденсатопровод необходимо проводить анализы конденсата согласно плану аналитического контроля (ПАК) на автоматизированных ШККК или в химической лаборатории. Пробоотборные устройства и ШККК должны быть установлены на каждой станции сбора и откачки конденсата и соответствовать требованию инструкции УТК (управления технического контроля).

Также следует учесть, что конденсат интенсивно поглощает кислород в местах свободного слива в открытые баки. Для ослабления аэрации поступающего конденсата его следует вводить под уровень жидкости возможно ближе к месту забора конденсата насосом [1]. Если в приборах системы потребителей не осуществляется охлаждение конденсата ниже температуры насыщения, то в конденсатосборнике происходит его самоиспарение, так как давление в нем всегда ниже, чем в приборах. Можно использовать этот пар для собственных нужд цехов (подогрев воды, обогрев приборов или иного оборудования, расположенного на открытой установке цеха) [2]. При одновременном возврате конденсата от нескольких цехов по общему конденсатопроводу, нужно максимально точно подобрать и отрегулировать конденсатные насосы, таким образом, чтобы они могли работать параллельно не передавливая друг друга. Для этого должно выполняться основное условие параллельной работы конденсатных насосов – равенство их приведенных напоров, то есть напоров, отсчитанных от уровня конденсата в сборном баке станции при нулевом его расходе [3].

Все вышеописанное будет иметь положительный экономический эффект для предприятия в целом, а также снизит слив некачественного конденсата в ХЗК, что также положительно отразится на экологии.



## Источники

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. М.: МЭИ, 2003. 472 с.
2. Гдалев А.В., Козлов А.В., Сапронова Ю.И., Майоров С.Г. Теплотехника; 2-е изд. Саратов: Научная книга, 2019. 287 с.
3. Луканин В.Н., Шатров М.Г., Камфер Г.М., Нечаев С.Г., Иванов И.Е., Матюхин Л.М., Морозов К.А. Теплотехника. М.: Высшая школа, 1999. 671 с.

УДК 658.26

## ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ 1-ОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗОНЫ ПАО «НИЖНЕКАМСКНЕФТЕХИМ»

Ю.В. Жарков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ZharkovYV@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Р. Загретдинов

В работе представлены мероприятия, направленные на оптимизацию системы теплоснабжения 1-ой промышленной зоны ПАО «Нижнекамскнефтехим».

**Ключевые слова:** тепловые сети, эксплуатация, оптимизация, теплоснабжение, узел учёта, отопительный период, автоматические регуляторы.

На территории 1-ой промышленной зоны ПАО «Нижнекамскнефтехим» расположены пять заводов (ДБиУВС, БК, СК, ИМ, завод Пластиков), которые выпускают широкий ассортимент химической продукции. Можно рассмотреть ряд мероприятий, которые в свою очередь положительно повлияют на систему теплоснабжения в рассмотренной территории.

1. Повышение давления на источнике ТЭЦ в трубопроводе прямой теплофикационной воды до  $8\text{--}8,5$  кгс/см<sup>2</sup>, что позволит увеличить гидравлический напор ориентировочно на  $0,5\text{--}0,6$  кгс/см<sup>2</sup> и обеспечить конечных потребителей тепла необходимым располагаемым напором.

2. Перевод с централизованного теплоснабжения объекта В-14 на индивидуальное, что позволит сократить объём циркулируемого теплоносителя на  $170\text{--}200$  м<sup>3</sup> в час, что будет иметь положительный экономический эффект для ПАО «Нижнекамскнефтехим».

3. Ответственный подход и строгое соблюдение температурного графика (регулировка «обратки» в тепловых пунктах на территории технологических цехов, в том числе регулировка тепловых спутников) обслуживающим персоналом, положительно повлияет на гидравлический режим. Температура обратной сетевой воды является важнейшим параметром при продаже тепла, закладывая и осваивая даже относительно небольшие инвестиции со стороны потребителей могут существенно снизить температуру обратной воды, что даст ощутимый экономический эффект для поставщика тепла (ТЭЦ) как за счет удешевления процесса выработки тепла в комбинированном режиме, так и за счет уменьшения теплопотерь при транспортировке тепла, диаметров трубопроводов, снижения затрат на электроэнергию при транспортировке воды. Отсутствие в тарифе стимулов к снижению температуры обратной сетевой воды имеет крайне отрицательные последствия, так как дает возможность потреблять только высокопотенциальное тепло, нарушая гидравлические режимы всей системы, и, сводя на ноль выгоды теплофикации, затрачивая на оплату согласно показаниям теплосчетчика те же средства, что и в нормальном режиме [1].

4. Более глубокая и детальная ревизия систем отопления потребителей в том числе:

- промывка (с предварительным демонтажем) чугунных радиаторов (трубных регистров) отопления;
- чистка и ревизия калориферных установок;
- замена труб внутренних систем отопления, в которых теряется гидравлический напор, ухудшается теплопередача из-за отложений на внутренних поверхностях трубы;
- ревизия элеваторных узлов в тепловых пунктах. Подбор соответствующих диаметров сопел;
- установка лимитных шайб в тепловых пунктах потребителей.

5. Утепление помещений (замена или ремонт старых деревянных и металлических оконных блоков, мест прохода трубопроводов через стены зданий и т.п.), административных корпусов, операторных, насосных.

6. При включении циркуляции контура ТФВ (теплофикационная вода) при начале отопительного сезона в обязательном порядке должны быть включены в работу узлы автоматического регулирования и учета теплоносителя.

7. Установка дополнительных циркуляционных насосов у конечных потребителей ветки повысит эффективность системы отопления, приведет к равномерному распределению теплоносителя, а также окажет положительное влияние на температурный режим помещений, приведет к последующему улучшению циркуляции ТФВ внутри основной магистрали.

8. Обеспечение надзорной деятельности и контроля за эксплуатацией, согласно «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок» и «Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности».

Система централизованного теплоснабжения с момента ввода в эксплуатацию постоянно меняется и развивается за счет подключения к ней новых потребителей и ввода в эксплуатацию новых объектов в периметре предприятия и строительства новых участков тепловых сетей. Поэтому на каждый конкретный отопительный сезон следует рассчитывать и корректировать эксплуатационные режимы, учитывающие фактическое состояние системы теплоснабжения [2]. Для оптимизации эксплуатационных режимов оборудования должно предусматриваться максимально полное использование характеристик фактически установленного оборудования, рационализацию и своевременное усовершенствование схем тепловых пунктов, а также использование возможности совместной работы тепловых сетей от нескольких источников теплоты.

### **Источники**

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. М.: МЭИ, 2003. 472 с.

2. Гдалев А.В., Козлов А.В., Сапронова Ю.И., Майоров С.Г. Теплотехника. 2-е изд. Саратов: Научная книга, 2019. 287 с.

УДК 697.7

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

А.А. Зайцева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

azayceva441@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. Кондратьев

С каждым годом невозобновляемых энергетических ресурсов становится меньше. Запасы нефти и газа истощаются, при этом затраты на добычу и поставку ресурсов растут, что значительно увеличивает стоимость получаемой энергии. В связи с этим вредные выбросы в атмосферу и в водоемы значительно ухудшают экологическую обстановку страны. Эти проблемы являются основными в сфере энергетики, именно поэтому альтернативные виды энергии вызывают повышенный интерес и являются перспективными и конкурентоспособными для активного использования их в ближайшем будущем. Одним из таких видов является геотермальная энергетика.

**Ключевые слова:** геотермальная энергия, тепловая энергия, электрические станции, экологическая обстановка.

Геотермальная энергия – одно из направлений альтернативных источников энергии, заключающееся в получении электрической и тепловой энергии за счёт эксплуатации тепла из недр Земли. Тепло, излучаемое ядром, велико настолько, что способно расплавить образования горных пород [1].

Однако доступ к источнику геотермальной энергии достаточно сложен и различен в зависимости от региона страны. Причиной этому неравномерная поверхность нашей планеты и толщина земной коры, которые напрямую влияют на температуру слоев земли. Именно поэтому в приоритете окажутся местности в горных районах, а также зоны вулканической активности.

Геотермальную энергию разделяют на петротермальную и гидротермальную. Отличаются они тем, что петротермальные источники получают энергию за счёт высоких температур слоёв земли, а гидротермальные благодаря нагретым подземным водам [2].

На современных тепловых электростанциях тепловая энергия земли преобразуется в тепловую и электрическую тремя методами:

- прямой метод, когда пар из слоёв земли напрямую взаимодействует с турбиной;

- непрямой метод, который заключается в том, что ресурсы геотермальных скважин поступают в испаритель, где и образуется пар, вращающий лопасти турбины;

- бинарный метод, основанный на теплообмене двух жидкостей. Более нагретой является вода, забираемая из недр земли, а в роли парообразующей применяют жидкости с меньшей температурой кипения [3].

Сейчас на территории России работают 3 станции. Наиболее мощной является Мутновская геотермальная электростанция. Её мощность составляет 50 МВт. Верхне-Мутновская и Паужетская электростанции обладают мощностью в 12 МВт. Все 3 станции преобразуют тепловую энергию прямым методом. Также экспериментальные энергоблоки внедряют в Паужетскую и Мутновскую геотермальные электростанции, которые будут основаны на бинарном методе и применяются для системы отопления с помощью индивидуальных тепловых пунктов [4].

Главным достоинством геотермальной энергетики является то, что тепловой источник доступен всегда, в то время как выработка других альтернативных источников, как энергии солнца и ветра, зависит от многих факторов и природных условий. Немаловажно и то, что термальная энергия является неисчерпаемой.

Однако в геотермальной энергетике существуют и значимые недостатки. Для получения геотермальной энергии необходима скважина, а требуемое количество тепловой энергии прямо пропорционально глубине скважины, что в свою очередь значительно усложняет и удорожает процесс получения теплоносителя. Также добыча энергетического ресурса может быть экономически не выгодна из-за малого температурного градиента. Здесь целесообразно применять тепловые насосы [5]. Не следует исключать и того, что использование подземных вод может отрицательно сказаться на экологии, так как в ней могут содержаться примеси токсичных элементов [6].

Таким образом, можно сделать вывод, что геотермальная энергетика действительно может заменить привычные для нас источники энергии, а потребление таких видов топлива как уголь, торф, мазут и горючие сланцы снизить до минимума. Переход на геотермальные тепловые станции позволит обеспечить страну неисчерпаемым ресурсом тепловой энергии и электрической, а также значительно улучшит экологическое состояние России [7].

### **Источники**

1. Геотермальная энергетика [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Геотермальная\\_энергетика#Литература](https://ru.wikipedia.org/wiki/Геотермальная_энергетика#Литература) (дата обращения 10.03.22).

2. Геотермальная энергетика в России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://altenergiya.ru/termal/geotermalnaya-energetika-v-rossii.html> (дата обращения 9.03.22).

3. Исмаилова Г.М., Кондратьев А.Е. Геотермальная энергетика и ее перспективы использования в России и зарубежом // В мире науки и инноваций: сб. статей межд. науч.-практ. конф.: в 8 ч. Пермь: ООО «Аэтерна», 2016. С. 86-88.

4. Сабирова Л.Р. Особенности применения индивидуальных тепловых пунктов в городе // Тинчуринские чтения: тезисы докл. XIII молод. науч. конф. В 3-х т. 2018. Т. 2. С. 203-205.

5. Гатауллина И.М. Построение системы теплоснабжения на основе теплового насоса // Тинчуринские чтения: тезисы докл. XIII молод. науч. конф. В 3-х т. 2018. Т. 2. С. 160-162.

6. Гатауллина, И.М. Технология устройства снегоплавильных станций на основе применения тепла сточных вод // Тинчуринские чтения: тезисы докл. XIV молод. науч. конф. В 3-х т. 2019. Т. 2. С. 104-107.

7. Алимкулова С.Р. Способ решения проблем энергосбережения в системе теплоснабжения // Научному прогрессу – творчество молодых. 2019. № 2. С. 73-74.

УДК 661.181

## **ПЕРЕВОД МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА НА ИНДИВИДУАЛЬНУЮ СИСТЕМУ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ (КРЫШНАЯ КОТЕЛЬНАЯ)**

Р.Р. Зарипов<sup>1</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>razilzar@mail.ru, <sup>2</sup>axmetovite@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Э.А. Ахметов<sup>2</sup>

В данной статье рассмотрена необходимость перевода жилых многоквартирных домов на индивидуальную систему теплоснабжения.

**Ключевые слова:** крышная котельная, качественное отопление, потери энергии.

В настоящее время в Российской Федерации вопросу децентрализованного теплоснабжения уделяется мало времени, в то время как в странах за рубежом на крышах и под крышами зданий в одно- и многоблочном исполнении (без наружных тепловых сетей) оно успешно применяется в течение более 20 лет наряду с крупными системами централизованного теплоснабжения. Автономное теплоснабжение позволяет привести тепловые потери к минимуму и дает возможность регулировать температуру обогрева жилых помещений в зависимости от температуры наружного воздуха. В этой связи задача использования децентрализованных источников теплоснабжения является, несомненно, актуальной [1].

Рациональный выбор источника теплоснабжения, оборудования теплового пункта, схемы присоединения теплопотребляющих установок и правильная эксплуатация позволяют достичь наиболее качественного, надежного и безопасного снабжения потребителей тепловой энергией с минимальными затратами.

Все чаще жители многоэтажных домов выбирают установку котельной на крыше. В большинстве случаев это встречается в новых домах. Однако и для жилых зданий, которые на протяжении долгого времени пытались безуспешно нормализовать теплоснабжение от центральных тепловых сетей, этот вариант современного индивидуального отопления потребителями, становится единственной возможностью получить качественное отопление [2].

Крышные котельные различают двух видов: стационарные и блочно-модульные.

Стационарные крышные котельные устанавливают на этапе строительства жилого дома.

Блочно-модульные крышные котельные устанавливаются на уже построенное здание. Данная котельная изготавливается и собирается у компании-поставщика и транспортируется на место монтажа и пуско-наладки в уже готовом состоянии. Её подключение к теплосетям занимает очень маленький срок [3].

Применение современных крышных котельных, несмотря на значительные капитальные вложения, позволяет сократить эксплуатационные расходы и повысить эффективность работы системы теплоснабжения. Также снижаются потери тепловой энергии за счет более рационального и автоматизированного преобразования параметров теплоносителя, а именно регулирования температуры теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха [4].

Крышные котельные на газе позволяют не только получить качественное отопление и систему горячего водоснабжения, но и сделать его гораздо дешевле. При использовании индивидуальной системы теплоснабжения значительно снижается тариф и себестоимость тепловой энергии [5].

### **Источники**

1. Кузник И.В. Российское теплоснабжение. Учет и эксплуатация. М.: Издательский дом МЭИ. 2018. С. 190.
2. Технические условия по устройству и эксплуатации крышных котельных на природном газе. М.: АКХ им. К.Д. Памфилова, 1995. С. 55.
3. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Инструкция по проектированию крышных котельных. М.: Минстрой России, 1995. С. 180.
4. СНиП II-35-76 «Котельные установки. Нормы проектирования» / М.: Стройиздат, 1976. С. 25.
5. Ахметшина Л.А. Перспективы применения крышных котельных: матер. Всерос. науч.-практ. конф. в рамках весеннего форума ЖКХ и строительства. Уфа: Башкирский ГАУ, 2019. С. 7-11.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ПРЕДПРИЯТИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПИНЧ-АНАЛИЗА

А.С. Захаров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

artem-zacharov\_94@mail.ru

Науч. рук. д-р. техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков

В статье рассмотрены оптимизация и повышение эффективности производства с помощью пинч-анализа отечественной промышленности на примере нефтеперерабатывающего завода.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, энергосбережение, пинч-анализ, оптимизация.

Нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) – это крупнейшие потребители энергии, при постоянном росте стоимости энергоресурсов оптимизация их потребления на установках становится все более актуальной задачей.

Нефтеперерабатывающая промышленность является стратегически важной отраслью, вносит наибольший вклад в стабильность и эффективное развитие экономики. При реконструкции старых и проектировании новых технологических установок на НПЗ широко применяются мероприятия по энергосбережению. Так, в технологически печи внедряются узлы предварительного нагрева газа и воздуха, а также используются котлы-утилизаторы для использования тепла отработавших газов. Это дает возможность уменьшить потребление топлива и повысить коэффициент полезного действия печей. Также способом оптимизации является увеличение поверхности рекуперативных теплообменников, совершенствование схем тепловых потоков. Это дает возможность повысить уровень рекуперации и также уменьшить затраты топлива.

В процессе строительства или реконструкции нефтеперерабатывающего предприятия необходимо уделять особое внимание применению вторичной теплоты технологических объектов [1].



При решении задач оптимизации энергетических ресурсов на нефтеперерабатывающем заводе, прежде всего, решаются проблемы термодинамической оптимизации процессов, которые протекают в элементах теплообменников и напрямую в самих теплоэнергетических системах. Одним из более результативных методов оптимизации данных процессов считается пинч-анализ или метод тепловой интеграции [2].

Пинч-анализ является современной методологией минимизации подвода теплоты внешними энергетическими носителями путем расчета эксергии путем оптимизации рекуперации тепла в системе. Использование этого высокоэффективного энергосберегающего мероприятия дает в процессе нефтепереработки уникальные результаты при проектировании и реконструкции теплообменных сетей при одновременном соблюдении норм по качеству изготавливаемой продукции.

Пинч-анализ может эффективно оптимизировать конфигурацию НПЗ при проектировании с точки зрения его энергетического потребления [3].

На первом этапе пинч-анализа производится анализ действующей блока системы теплообменников или установки в целом. Далее проводится проектирование новой системы теплообмена и рассчитывается технико-экономическая оценка преобразований.

Для уменьшения тепловых потерь и увеличения эффективности необходимо проводить параметрическую и структурную оптимизацию системы теплообменников методом пинч-анализа, с учетом их сложной структуры. Оптимизация системы теплообмена даст возможность повысить рекуперацию тепла, снижая долю горячих и холодных ресурсов извне [4].

Таким образом, преимуществами пинч-анализа в качестве метода оптимизации рекуперации теплоты являются высокая эффективность, рентабельность и универсальность. Использовать его можно как при проектировании новых, так и при реконструкции старых технологических установок на НПЗ.

### **Источники**

1. Миркин А.З., Яицких Г.С., Краснов А.В., Яицких В.Г. Энергосбережение на НПЗ // Oil&Gas Journal Russia. 2013. № 11 (77). С. 72-75.

2. Муслина Д.Б. К вопросу о применении пинч-анализа для повышения эффективности использования тепловой энергии // Вестник Луганского Национального Университета имени Владимира Даля. 2017. №1-1 (3). С. 98-102.

3. Уляшева В.М., Пономарев Н.С. Анализ мероприятий по энергосбережению при эксплуатации нефтяного месторождения // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2019. №11. С. 82-87.

4. Пинч-анализ. Государственная информационная система в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gisee.ru/articles/sub-methods/778/> (дата обращения 01.03.2022).

УДК 621.311.1

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Н.А. Зубарев<sup>1</sup>, С.О. Гапоненко<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>zubarev\_n@mail.ru, <sup>2</sup>sogaponenko@yandex.ru

В настоящее время во всем мире одним из важных вопросов является вопрос о малоэффективном использовании энергоресурсов. Создаётся множество программ и методов, связанных с повышением энергетической эффективности. В данной статье рассмотрены наиболее распространенные методы позволяющие повысить эффективность используемого оборудования.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, повышение эффективности, энергосбережение.

Энергетическая эффективность – это комплекс характеристик оборудования, которые отражают отношение полезного эффекта от использования энергоресурсов к затратам данных ресурсов [1]. Основополагающим фактором анализа эффективности деятельности и развития предприятия, а также мероприятий по уменьшению потерь тепловой или электрической энергии, является надежное бесперебойное и экономичное снабжение потребителей тепловой или электрической энергией в необходимом объеме и требуемого качества.

Закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ» был принят в 23.11.2009 г. После его принятия вопрос о повышении энергоэффективности стал одним из основных направлений энергетического развития как многих стран мира, так и огромного количества предприятий [2].

Первым основополагающим шагом для повышения энергоэффективности будет проведение детального аудита текущего состояния систем использования энергоресурсов и отдельного оборудования. Основными целями аудита является: получение и изучение данных о количестве используемых энергоресурсов; определение показателей энергоэффективности; исследование возможности энергосбережения и повышения энергоэффективности [3].

В дальнейшем по результатам проведения аудита необходимо разработать, предложить и обосновать мероприятия по повышению эффективности. После этого необходимо начать поэтапное внедрение мероприятий с учетом запланированных сроков, планируемого результата, а также требуемых инвестиционных вложений. Данные мероприятия могут быть как организационные, так и технические.

Организационные мероприятия, как правило, включают в себя разработку документов и положений в области энергоэффективности, назначение ответственных за их соблюдение, определение необходимых затрат на мероприятия по повышению эффективности. Большая часть организационных мероприятий при должной разработке на этапе аудита может быть проведена специалистами предприятия, в тоже время часть данного вида мероприятий требуют привлечения организаций, специализирующихся на повышении энергоэффективности или дополнительных денежных вложений. К организационным мероприятиям относятся такие мероприятия как: регулярное проведение совещаний по энергосбережению; принятие программ энергосбережения; введение ответственных за соблюдение режима экономии и порядка отчетности о достигнутой экономии. Средний срок окупаемости данных мероприятий обычно находится в пределах одного месяца.

Технические мероприятия за частую требуют больших финансовых вложений, по сравнению с организационными, а также больших затрат времени на их реализацию. Технические мероприятия по сроку окупаемости можно разделить на малозатратные (срок окупаемости от 6 месяцев до 1 года) и средnezатратные (срок окупаемости до 3 лет).

Улучшение и реконструкция действующих систем и установок энергообеспечения. Это мероприятие осуществляется путем замены устаревшего оборудования на более современное с повышенным КПД и степенью надежности, а также возможно применение энергосберегающих технологий. Данный метод считается одним из самых часто применяемых [4].

Применение активно-адаптивных и нейронных сетей для контроля потребляемой энергии. В настоящее время ученые активно разрабатывают концепцию «умных», или активно-адаптивных, сетей – Smart Grid, позволяющих эффективным образом реализовать процессы повышения эффективности эксплуатации. «Умные» сети Smart Grid представляют из себя модернизированные каналы энергоснабжения, работающие удаленно с использованием коммуникационного и информационного оборудования [5]. Главной целью внедрения таких систем является обеспечение надёжной и бесперебойной работы оборудования благодаря внедрению удаленного контроля за состоянием каждого элемента системы по отдельности.

Помимо вышеперечисленных методов так же стоит отметить и внедрение средств диагностирования с применением методов неразрушающего контроля. Как показывает отечественный и зарубежный опыт, данный метод является одним из важнейших факторов повышения экономической эффективности. Энергоэффективное функционирование систем энергообеспечения невозможно без быстрого и качественного обслуживания энергетического оборудования, что включает в себя проведение плановых и внеплановых ремонтов, а также своевременное выявление неисправностей и их устранение [6].

### **Источники**

1. Закон Российской Федерации от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 11.06.2021) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

2. Попадько Н.В., Найденова В.М. Энергосбережение и повышение энергоэффективности как вектор развития мирового энергетического комплекса // Инновации и инвестиции. 2020. №5.

3. Неуступов Е.О. Современные методы повышения энергоэффективности потребителей электрической энергии промышленного предприятия // Вестник науки и образования. 2021. №8-1 (111).

4. Иванов В.С., Пономарев В.А. Методы повышения эффективности систем энергоснабжения промышленных предприятий // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2017. № 59. С. 158-169.

5. Соловьев В.И. Цифровая трансформация систем теплоснабжения муниципального образования // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. №2 (14).

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

УДК 621.577

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РЕВЕРСИВНОГО ПАРОКОМПРЕССИОННОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА «ВОЗДУХ- ВОДА» НPI-S**

А.А. Кряжева<sup>1</sup>, В.А. Садертинова<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «ИГЭУ им. В.И. Ленина», г. Иваново

<sup>1</sup>anastasiyakry2000@yandex.ru, <sup>2</sup>vsadertinova@mail.ru

Науч. рук. асс. М.В. Козлова

В работе приводятся результаты исследования бивалентной системы теплоснабжения, функционирующей на базе реверсивного парокомпрессионного теплового насоса «воздух-вода» НPI-S фирмы De Dietrich. В результате проведенного исследования установлено, что при работе теплового насоса на систему отопления с температурным графиком 80/60 в климатических условиях Российской Федерации можно достичь среднегодового коэффициента трансформации равного 2,1. Кроме этого, установлено, что в негазифицированных районах бивалентные системы теплоснабжения экономически более эффективны по сравнению с другими источниками тепловой энергии.

**Ключевые слова:** тепловой насос, система теплоснабжения, отопление, температурный график, коэффициент трансформации.

Рациональное использования таких ресурсов как природный газ, каменный уголь, нефть в соответствии с ФЗ №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» [1] является актуальным. В свою очередь использование нетрадиционных источников энергии, в частности тепловых насосов (ТН), направлено на решение данной задачи. На рынке широко представлены тепловые насосы различных фирм: De Dietrich, Danfoss, Henk, Vaillant и др.

На рынке наиболее широко представлены 2 типа тепловых насосов: «воздух-вода» и «грунт-вода». Тепловые насосы типа «воздух-вода» имеет ряд преимуществ, к которым относят простоту установки, легкодоступность низкопотенциального источника тепловой энергии. В то же время грунтовые тепловые насосы работают с более стабильным по своим параметрам источником энергии, однако они имеют и ряд недостатков: сложность монтажных работ, необходимость отселения территорий.

Принимая во внимание вышесказанное, авторами было принято решение дальнейшего исследования работы системы теплоснабжения на базе теплового насоса «воздух-вода» De Dietrich NPI-S [2].

Рассматриваемая бивалентная система теплоснабжения включает в себя ТН и дополнительный источник энергии, представленный в виде электрического котла или ТЭНа. Объект исследования представляет собой систему теплоснабжения, расположенную в климатических условиях г. Санкт-Петербург, г. Москва и г. Екатеринбург, с расчетной отопительной нагрузкой, составляющей 10 кВт, температурным графиком работы источника 80/60.

Параметры работы исследуемой системы теплоснабжения для г. Санкт-Петербург в виде графиков представлены на рис. 1.

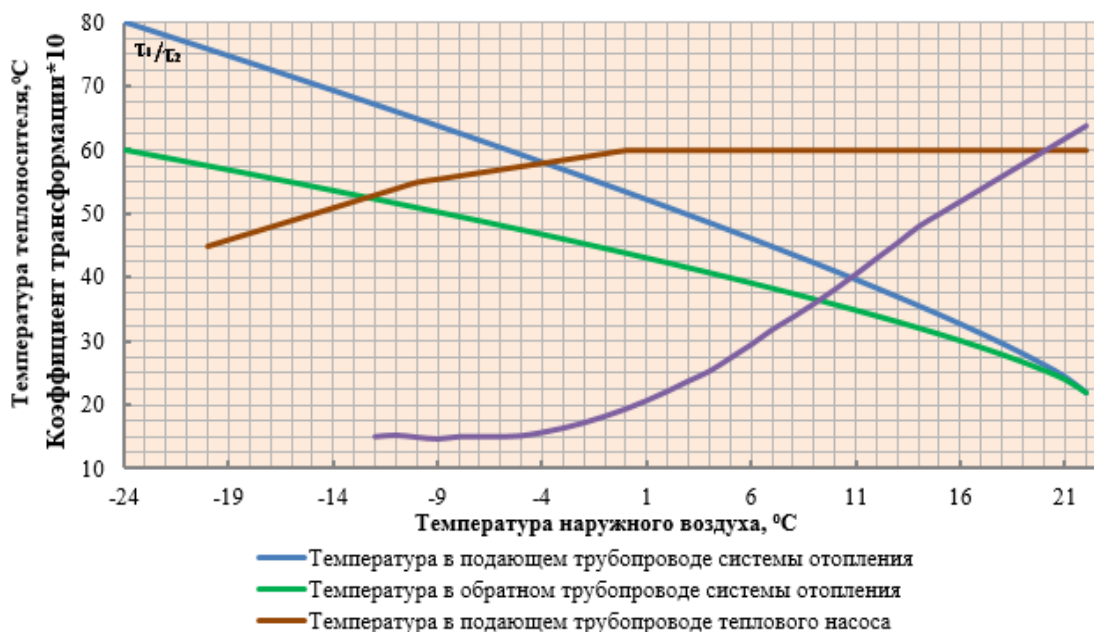


Рис. 1. Температурный график 80/60 г. Санкт-Петербург

Как видно из графика тепловой насос NPI-S обеспечивает работу системы теплоснабжения вплоть до  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при этом до  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  он нагревает теплоноситель в подающем трубопроводе до требуемых параметров, а при температуре наружного воздуха от  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а далее до  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  позволяет лишь частично подогреть теплоноситель.

Для оценки эффективности работы теплового насоса, был произведён расчёт коэффициента трансформации в зависимости от температуры наружного воздуха [3]. Среднегодовой коэффициент трансформации для г. Санкт-Петербург составил 2,06, для г. Екатеринбург – 2,04, для г. Москва – 2,25.

Исходя из диаграмм, представленных на рис. 2, можно сделать вывод, что тепловой насос позволяет покрыть большую часть требуемого расхода теплоты на работу системы отопления, при этом в среднем около 40 % расходуется на электроэнергию, затрачиваемую компрессором, и порядка 20 % на работу дополнительного источника.

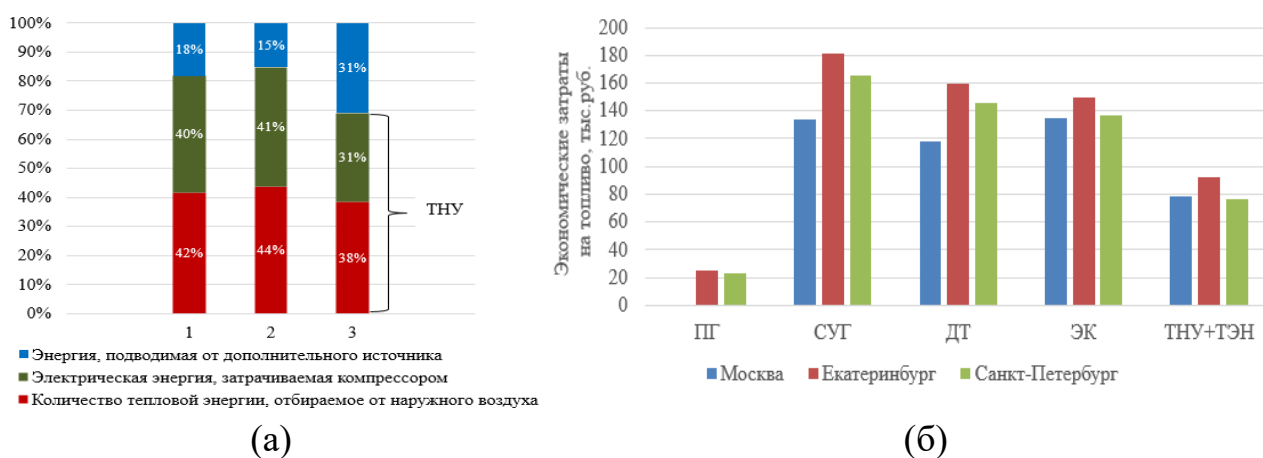


Рис. 2. Диаграммы распределения годового расхода энергии между источниками теплоты для покрытия отопительной нагрузки температурного графика 80/60 (а) и диаграмма экономических затрат на работу системы отопления при функционировании на различных источниках тепловой энергии (б):  
1 – г. Москва, 2 – г. Санкт-Петербург, 3 – г. Екатеринбург

Кроме этого, были рассчитаны экономические затраты на работу альтернативных источников энергии (электрический котел, котельные установки, функционирующие на сжиженном углеводородном газе, дизельном топливе, природном газе). Результаты расчетов сведены в диаграмму, изображённую на рис. 2, б.

В результате проведенного исследования было установлено, что использование бивалентной системы, включающей в себя тепловой насос «воздух-вода», целесообразно в условиях работы в негазифицированных районах, так как в данном случае затраты на работу системы будут минимальны.

## Источники

1. Реализация закона об энергосбережении // Энергосбережение. 2012. № 2. С. 6-9.
2. Техническая инструкция. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.dedietrich-otoplenie.ru/produkcija/katalog/teplovye\\_nasosy/hpi\\_s\\_evolution](http://www.dedietrich-otoplenie.ru/produkcija/katalog/teplovye_nasosy/hpi_s_evolution) (дата обращения 17.02.2022).
3. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573659358> (дата обращения 19.02.2022).

УДК 536.2.022

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ДЛЯ ПОИСКА МЕСТ ЗАТОПЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОСЕТИ

К.В. Лапин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

lapinkv@yandex.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. И.Г. Ахметова

В работе рассматривается вопрос повышения надежности тепловых сетей за счет своевременного обнаружения участков трубопроводов теплосети, находящихся в состоянии подтопления, интенсифицирующей процессы наружной коррозии металла. Быстрый рост количества приборов учета тепловой энергии, установленных на объектах сетей централизованного теплоснабжения и объектах потребителей тепловой энергии, в совокупности с использованием современных средств измерений и систем дистанционной передачи показаний приборов, создаёт предпосылки для системного анализа отклонений температуры теплоносителя от нормативных значений, по результатам которого возможно устранять факторы внешней коррозии трубопроводов, повышать надежность работы централизованной системы теплоснабжения.

**Ключевые слова:** потери тепловой энергии, температура теплоносителя, наружная коррозия, тепловая сеть, надежность системы, измерение температуры.

Задача оперативного обнаружения участков трубопроводов тепловых сетей, находящихся в подтопленном или затопленном состояниях, является наиболее актуальной для предприятий, эксплуатирующих тепловые сети с точки зрения снижения потерь тепловой энергии в сетях и повышения надежности работы централизованной системы теплоснабжения.



Подтопление (затопление) трубопроводов теплосети провоцирует существенное снижение коррозионной стойкости трубопроводов.

Обнаружение (поиск) мест затопления трубопроводов теплосети необходимо для обеспечения возможности своевременного устранения очагов затопления и, как следствие, является мероприятием для повышения надежности теплоснабжения потребителей тепловой энергии (повышает свойства живучести и долговечности теплосети).

Превалирующим способом прокладки теплосети в городе является подземный способ. Между тем, не всегда при строительстве тепловых сетей удастся исключить фактор затопления трубопроводов грунтовыми водами, паводковыми водами в весенний и осенний период.

Подтопление тепловой сети, помимо увеличения коррозии и снижения надежности, способствует образованию сверхнормативных потерь тепловой энергии, которые, в свою очередь, являются прямыми убытками эксплуатирующих тепловые сети предприятий. Проведенные исследования показывают рост потерь тепловой энергии более чем в 2 раза [1–3].

Вместе с тем, на сегодняшний день наблюдается высокая степень оснащённости разветвленных централизованных систем теплоснабжения средствами измерения температуры теплоносителя. Как правило, эти средства измерений входят в состав узлов учета параметров тепловой энергии, размещенных на выводах источников теплоты, узловых точках теплосети и в индивидуальных тепловых пунктах объектов теплопотребления. Для централизованных систем теплоснабжения республики Татарстан оснащённость узлами учета составляет порядка 90–99 %, из которых подавляющее большинство (более 50 %) оснащены средствами дистанционной передачи показаний средств измерений.

Дистанционная передача показаний средств измерений температуры теплоносителя в информационные системы предприятий, эксплуатирующих тепловые сети, позволяет реализовать программный способ сравнения фактической температуры теплоносителя с нормативным значением.

Для автоматизированного выявления затопления трубопроводов в онлайн-режиме необходимо по формулам в соответствии с [4] рассчитать нормативные значения температур теплоносителя в точках теплосети и у потребителей с учетом времени прохождения теплоносителя по трубопроводам от источника теплоты до объекта потребителя. При этом нормативное значение температуры теплоносителя будет зависеть от значения фактической температуры теплоносителя на выводе источника теплоты в конкретный момент времени и расчетных нормативных тепловых потерь.

Проанализировав формулы расчета нормативных тепловых потерь тепловой энергии, приходим к выводу о том, что в условиях стационарного процесса переноса тепловой энергии от трубопроводов в окружающую среду потери тепловой энергии находятся в прямой зависимости от температуры теплоносителя. А конструктивные характеристики трубопроводов, способ прокладки при этом не меняются во времени.

Таким образом, тепловые потери на конкретном участке тепловой сети математически связаны только с изменением температуры теплоносителя в соответствии с температурным графиком из-за колебаний температуры наружного воздуха.

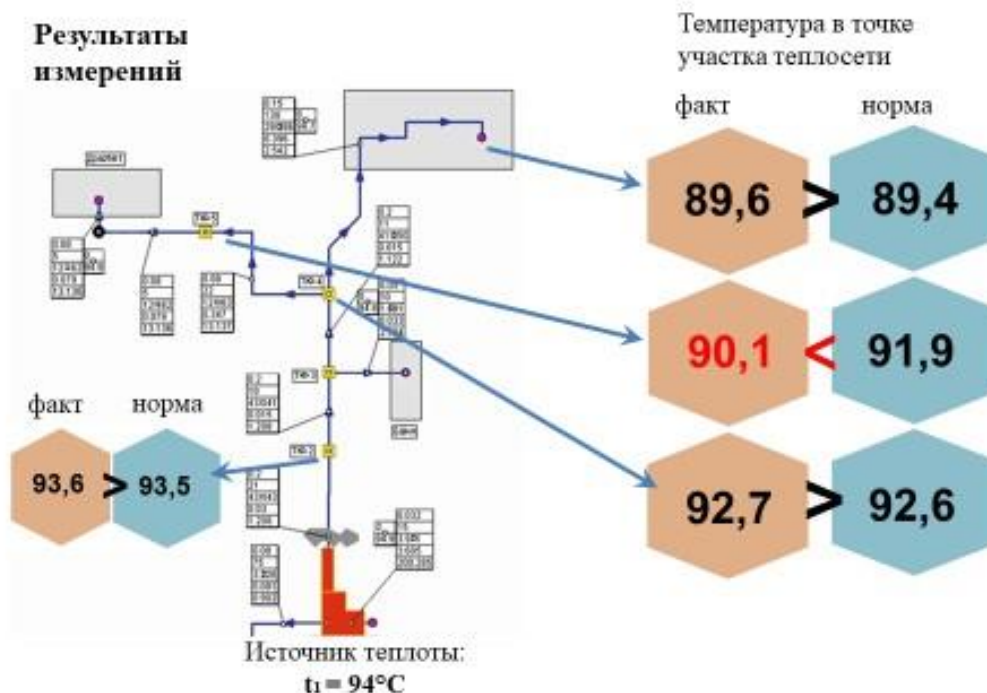
Температура теплоносителя в конце участка тепловой сети  $t_k^\tau$ , °С, при нормативном значении тепловых потерь в каждый момент времени  $\tau$  определяется по формуле:

$$t_{k.\text{норм}}^\tau = t_n^{\tau-n} - \frac{Q_n^{\text{норм}}}{c_p \times G \times n} \times 10^3,$$

где  $t_n^{\tau-n}$  – фактическая температура теплоносителя в начале участка с учетом времени прохождения температурной волны, °С;  $n$  – время прохождения температурной волны от начала участка теплосети до его конца, ч;  $Q_n^{\text{норм}}$  – значение нормативных тепловых потерь, пересчитанное на фактическую температуру теплоносителя в начале участка  $t_n^{\tau-n}$ , Дж;  $c_p$  – удельная теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг·К);  $G$  – расход теплоносителя на участке тепловой сети, т/ч.

Рассчитав нормативное  $t_{k.\text{норм}}^\tau$  и фактическое  $t_k^\tau$  значение температуры теплоносителя в конце участка по каждому участку трубопроводов централизованной системы теплоснабжения, оборудованному в начале и в конце участка средствами измерения температуры теплоносителя, возможно хранить и группировать результаты измерений, а также результаты сравнений нормативного и фактического значения падения температур теплоносителя.

Пример визуализации измерений фактической температуры теплоносителя и расчета нормативного значения температуры теплоносителя в конце участка теплосети представлен на рисунке.



Визуализации измерений фактической температуры теплоносителя и расчета нормативного значения температуры теплоносителя в конце участка теплосети

Сравнение нормативного и фактического падения температуры теплоносителя на участке трубопроводов производится по формуле:

$$S = \frac{t_{\text{Н}}^{\tau-n} - t_{\text{К}}^{\tau}}{t_{\text{Н}}^{\tau-n} - t_{\text{К.норм}}^{\tau}}$$

При значении сравнения  $S > 2$ , можно сделать вывод о том, что на данном исследуемом участке имеется фактор подтопления (затопления) трубопровода тепловой сети. При  $1 < S < 2$  наблюдаемое сравнение показывает то, что сверхнормативные потери образованы по иным причинам (нарушение или деформация теплоизоляционного слоя, изменение его характеристик теплопроводности). При  $S \leq 1$  потери тепловой энергии на участке трубопровода меньше или сравнимы с нормативными потерями.

Предлагаемый способ использования средств измерений температуры теплоносителя для поиска мест затопления трубопроводов теплосети не требует значительных трудовых ресурсов и позволяет своевременно выявлять места подтопления (затопления) трубопроводов теплосети и, соответственно устранять факторы внешней коррозии трубопроводов, повышать надежность работы централизованной системы теплоснабжения.

## Источники

1. Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Тепловые потери магистральных трубопроводов в условиях полного или частичного затопления // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2006. № 3-4. С. 3-12.
2. Кузнецов Г.В., Озерова И.П., Половников В.Ю., Цыганкова Ю.С. Оценка фактических потерь тепла при транспортировке теплоносителя с учетом технического состояния и реальных условий эксплуатации тепловых сетей // Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 319. № 4.
3. Николаенко Р.А., Ермоленко М.В., Степанова О.А. Влияние увлажнения тепловой изоляции на величину тепловых потерь тепловых сетей // Молодой учёный. 2014. №6 (65).
4. Приказ Минэнерго России от 30.12.2008 N 325 «Об утверждении порядка определения нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии, теплоносителя».

УДК 620.1-1/-9

## РОБОТИЗИРОВАННАЯ ВНУТРИТРУБНАЯ ДИАГНОСТИКА

А.О. Мадыхова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

saleeva.a@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ю.Н. Звонарева

В настоящей работе рассмотрен метод внутритрубного диагностирования с применением робототехнического устройства, его принцип работы. Обоснована актуальность применения внутритрубного робота. Отмечены преимущества внутритрубной диагностики по сравнению с другими альтернативными методами контроля. Выявлена эффективность применения данного метода.

**Ключевые слова:** внутритрубная диагностика, диагностика трубопровода, контроль трубопроводов, внутритрубный робот, техническое обследование.

Эффективная и безопасная эксплуатация магистральных трубопроводов – важнейшая задача для любого теплоснабжающего предприятия. Для надежной работы системы необходимо поддерживать требуемые характеристики трубы. Значительная протяженность и малодоступность трубопроводных магистралей не позволяют во всем объеме использовать различные методы неразрушающего контроля [1].

Этот вопрос решается применением современных технологий внутритрубной диагностики, для контроля за техническим состоянием трубопровода, которая обеспечивает доступ и к внутренней, и к наружной поверхности трубы, а также дает возможность своевременно выявлять дефекты [2].

Внутритрубная диагностика (ВТД) – это техническое обследование с использованием роботизированных внутритрубных комплексов. Это диагностирование позволяет определять техническое состояние трубопроводов и выявить их дефекты без вскрытия [3].

В основе ВТД лежит магнитный метод с переменным намагничиванием металла. Его принцип в том, что по контролируемой трубе пропускается переменный электрический ток и далее измеряется распределение переменного магнитного поля внутритрубного пространства, поскольку с увеличением размера дефекта амплитуда магнитного поля растет [4].

Данный метод позволяет осуществлять сплошное сканирование поверхности трубопровода, контроль внутренней поверхности без очистки от отложений, а также позволяет выявить коррозионные дефекты на трубе через слой отложений.

Компаниями АО «Диаконт» и ООО «Газпроект-ДКР» разрабатываются роботехнические комплексы внутритрубного диагностирования магнитным методом, которые применяются для контроля за состоянием трубопроводов тепловых сетей. Разработчиками были проведены работы по внутритрубному диагностированию трубопроводов тепловых сетей АО «ЕТК», АО «УСТЭК», и АО «ПТС» г. Самара [3].

Результаты проведения экспериментов по внутритрубному диагностированию с роботами были переданы в теплосетевые компании в виде экспресс-отчетов и технических отчетов, в которых содержалась вся необходимая информация о выявленных дефектах и отклонениях для принятия решения о проведении ремонта. Представлена информация о месторасположении загрязнений, посторонних предметов, врезок, вмятин, деформаций, открытых дефектов, непроваров; информация о выявленных коррозионных повреждениях, геометрические размеры дефектов [3].

Метод внутритрубной диагностики позволяет достичь:

- повышение экономической эффективности системы теплоснабжения;
- повышение надежности при снижении затрат на эксплуатацию трубопроводов;
- повышение безопасности эксплуатации тепловых сетей.

Таким образом, внутритрубная диагностика с помощью робототехнических устройств имеет преимущества, а именно: достоверное определение технического состояния трубопроводов; предупреждение аварий на трубопроводной сети; получение информации, достаточной для объективной оценки остаточного ресурса трубопровода; своевременное планирование ремонта по фактическому состоянию труб; спланированность действий при дальнейшей эксплуатации трубопроводов.

Внутритрубная диагностика трубопроводов дает отличные результаты при диагностировании трубопроводной сети. Она позволяет досконально изучить и проверить как внутреннюю, так и наружную поверхность трубы, при этом находясь от нее на расстоянии.

Своевременный контроль поможет предотвратить аварию и не допустить разрушения труб.

### **Источники**

1. Даминов А.З., Караева Ю.В., Соломин И.Н., Садыков Р.А., Сафин И.А., Фаизов А.И. Комплексная методика анализа централизованных систем теплоснабжения // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2012. № 11-12. С. 3-13.

2. Гусячкин А.М., Нуриев Р.Р. Критерий выбора энергосберегающих мероприятий // Вестник КГЭУ. 2012. № 1 (12). С. 101-105.

3. Федосовский М.Е., Соколов М.В. Опыт проведения внутритрубной диагностики трубопроводов с выявлением дефектов КРН и коррозии // В мире неразрушающего контроля. 2018. С. 18-26.

4. Салюков В.В., Харионовский В.В. Магистральные трубопроводы. Диагностика и управление техническим состоянием. М.: Недра, 2016. С. 180-193.

## ТЕРМОАКУСТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ГАЗА В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ С ЗАКРУЧЕННЫМ ПЛАМЕНЕМ

А.О. Малахов

ФГАОУ ВО «К(П)ФУ», г. Казань

aleks19bass@yandex.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. В.М. Ларионов

В настоящее время исследование новых режимов горения крайне необходимо в виду увеличения мирового уровня энергопотребления и возросшей необходимости интенсификации процессов связанных с сжиганием углеводородного топлива. Также важным вопросом остаются методы утилизации всевозможных горючих отходов путем сжигания. В обоих случаях необходимо совершенствование имеющихся подходов и методов. В статье рассматриваются термоакустические колебания газа при процессе горения пропан-бутанового топлива возникающие в камере сгорания с закрученным пламенем. В настоящее время отсутствуют универсальные рекомендации для установок с пульсационным режимом горения. Качественное математическое описание термоакустических колебаний позволит использовать современные методы и программные комплексы для численного моделирования данных процессов.

**Ключевые слова:** труба, закрученное пламя; колебания газа, температура газа, распределение скорости звука.

Ранее было доказано [1–5], что имеется влияние продольного градиента температуры газа на условия возбуждения, частоту и амплитуду колебаний, а также зависимость скорости теплопередачи от амплитуды колебаний газа при процессе горения. Тем не менее, в математических моделях не учитывается, что распределение температуры газа и скорости звука в режиме пульсационного горения существенно отличаются от распределения в отсутствии колебаний или, когда их амплитуда бесконечно мала.

Основной проблемой теоретического описания термоакустических колебаний газа в газотурбинных установках является определение передаточной функции пламени, связывающей пульсации скорости тепловыделения с пульсациями скорости и давления газа в зоне горения. Пока эта задача не решена, т.к. нет однозначного ясного понимания физических процессов, вызывающих такое взаимодействие.

Было проведено теоретическое и экспериментальное исследование пульсационного режима горения в вихревой камере сгорания (рис. 1). В качестве топлива использована смесь пропан-бутана с воздухом.

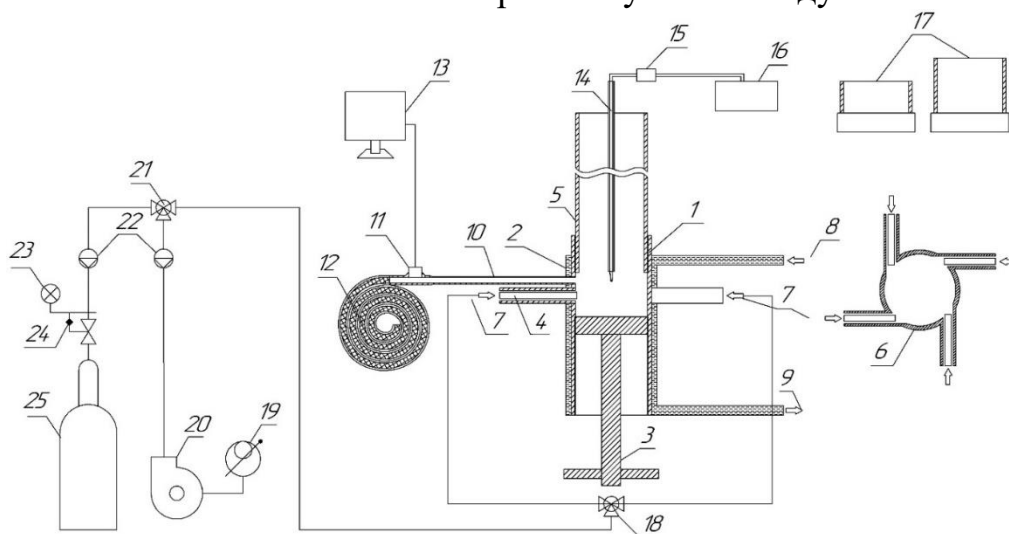


Рис. 1. Общая схема экспериментального стенда при изучении свойств пульсационного режима горения:

1 – входная камера, 2– охлаждающий контур, 3– регулирующий поршень, 4– патрубков и сопло, 5– цилиндрическая труба–резонатор, 6– расположение патрубков подачи топливо-воздушной смеси в установку, 7– подача топливовоздушной смеси, 8– подача хладагента, 9– выход хладагента, 10– акустический зонд, щуп, 11– микрофон, 12– силиконовая трубка, наполненная поглотителем, 13– компьютер, 14– термопара ВР 5/20, 15– компенсатор холодного спая, 16– цифровой прибор Ф266, 17– удлинения трубы–резонатора 1,25L и 1,5L, 18– разветвитель, 19– лабораторный автотрансформатор, 20– воздушный компрессор, 21– смеситель, 22– ротаметры, 23– автоматический регулирующий клапан, 24– газовый редуктор, 25– газ в баллоне (пропан–бутан)

В результате разработана расчетно-экспериментальная методика определения аксиального линейного распределения скорости звука в трубе с закрученным пламенем. На основании результатов вычислений и измерений температуры газа получены зависимости коэффициентов распределения от коэффициента избытка воздуха и амплитуды колебаний давления газа в трубе с тангенциальной подачей смеси пропан-бутанового топлива с воздухом. Обнаружено, что градиент скорости звука имеет наибольшее значение для коэффициента избытка воздуха, равного единице, когда амплитуда колебаний газа достигает максимума, а частота колебаний имеет минимум (рис. 2).

Градиент скорости звука в отсутствии колебаний газа (первое приближение):

$$b_{\alpha} = b_{\alpha}(\alpha) = (a(\alpha) - c_{l,0}(\alpha)) / l_c,$$



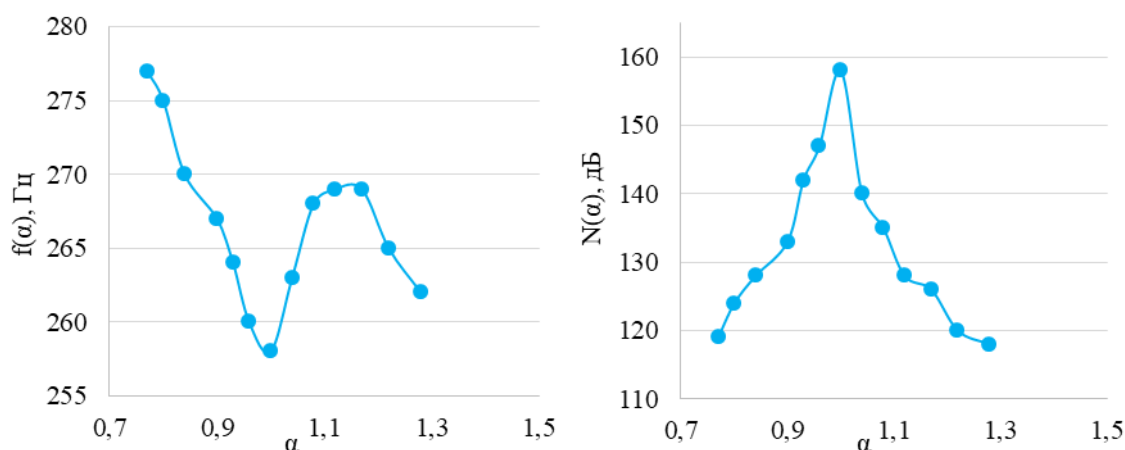


Рис. 2. Результаты экспериментального определения АЧХ камеры сгорания

Градиент скорости звука в режиме пульсационного горения:

$$b = (1 + 0,017 p_c) b_\alpha, \text{ если } 0 \leq p_c \leq 31 \text{ Па,}$$

$$b = 1,52 b_\alpha, \text{ если } p_c \geq 31 \text{ Па.}$$

Ожидается, что использование результатов данной работы в дальнейших расчетах частот колебаний газа в трубе с закрученным пламенем позволит достичь удовлетворительного согласования теоретических и экспериментальных данных.

### Источники

1. Malakhov A.O. [и др.] Analysis of the effect of combustion chamber length on the gas oscillations characteristics // Journal of Physics: Conference Series. 2021.

2. Sadikov K.G. [et al.] Development of the setup for study of the gas ionization in the pulsating mode of combustion // SCOPUS17426588-2018-1058-1-SID85051849818. 2018.

3. Malahov A.O, Larionov V.M, Iovleva O.V, Pulsating combustion of propane-butane fuel mixture with air in a vortex combustion chamber // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1588. Is.1. Art. № 012026.

4. Семенова Е.В., Ларионов В.М., Ваньков Ю.В. Термодинамический и акустический анализ пульсационного горения твердого топлива в устройстве типа резонатора Гельмгольца // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. Т. 20. №. 5-6.

5. Теляшов Д.А., Суховая Е.А., Ахметшина А.И. Разработка глушителя шума аэродинамического клапана камеры пульсирующего горения // XXIII Туполевские чтения (школа молодых ученых). 2017. С. 95-100.

## ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА БУДУЩЕГО

А.Р. Миниханова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

minihanova@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ю.Н. Зацаринная

В статье рассматриваются пути внедрения водородной энергетики для создания благоприятных экологических условий на Земле.

**Ключевые слова:** водород, элемент, электроэнергия, энергетика, топливо, методы, атмосфера.

На сегодняшний день одной из основных потребностей человечества является электричество и масштабы энергопотребления с каждым годом увеличиваются. Различают следующие виды генерации электроэнергии: тепловая, гидро, атомная, солнечная, ветровая, геотермальная и альтернативная энергетика [1]. Но уже в этом столетии традиционные горючие виды топлива могут заменить водородная энергетика, развитие которой способствует улучшению экологии на планете.

Водород является эффективным и экологически чистым топливом. Его теплота сгорания (1,17 ГДж/кг) почти в три раза больше, чем у нефти, и в четыре раза больше, чем у угля или природного газа [2]. Сжигание водорода в чистом кислороде приводит к образованию воды и тепла. Поэтому при использовании водорода не образуются парниковые газы и процесс считается экологически чистым.

Водород также является самым распространенным элементом в мире. При нормальных условиях водород представляет собой бесцветный газ без запаха, который почти в 15 раз легче воздуха. В большинстве случаев он встречается в основном в связанной форме, поскольку чрезвычайно химически активен. Обладает высокой теплопроводностью, сравнимой с металлом. Это связано с легкостью молекул водорода и высокой скоростью их движения.

Кроме того, одним из существенных преимуществ этого элемента является то, что водород можно получать из самых разных видов сырья и с использованием различных процессов. К ним относятся: паровая конверсия метана и природного газа, газификация угля, электролиз воды, пиролиз, парциальное окисление, биотехнология. Производство водорода можно разделить на два метода. Следовательно, в лабораторных условиях водород можно получить при реакции активных металлов с кислотами и взаимодействии алюминия (или цинка) с водными растворами щелочей. В промышленности получение водорода осуществляется за счет электролиз воды и водных растворов щелочей и солей, а также пропускания водяного пара при высокой температуре в 1000 °С (газификации угля).

Решение активно внедрять водород в энергетику не ново. В 1980-х гг. был разработан водородный двигатель. Водород широко используется в нефтехимии, металлургии и производстве минеральных удобрений. В настоящее время мировое производство водорода оценивается в 55–70 млн тонн со среднегодовым темпом роста 1,6 %. Существенной особенностью использования водорода является то, что при его соединении с кислородом в электрохимическом генераторе (ЭХГ) энергия химических реакций может быть преобразована непосредственно в электричество, что обеспечивает высокий КПД.

Первый водородный топливный элемент был разработан британским ученым Уильямом Гроувом в 30-е гг. Сегодня водородные топливные элементы аналогичны обычным гальваническим элементам с одним отличием: вещества, используемые для реакции, не хранятся в элементе, а постоянно поступают извне. Протекая через пористый анод, водород теряет электроны, электроны попадают в цепь, а катионы водорода проходят через мембрану. Кроме того, на катоде кислород захватывает протоны и внешние электроны, образуя воду. В этом случае, пока доступно топливо (например, водород), топливный элемент, в свою очередь, будет генерировать электричество.

С точки зрения «зеленой» энергетики водородные топливные элементы очень эффективны на уровне 60 %, что значительно превышает КПД солнечных и ветряных электростанций [3].

Человечество давно осознало преимущества водородной энергетики, но не торопится с масштабным промышленным применением. Имеются недостатки, которые ограничивают использование натуральных материалов.

Как было сказано выше, существует множество видов производства водорода, и единого механизма получения еще не сформировалось.

Для получения используются природные ресурсы (такие как нефть и газ), которые не вечны и имеют свойство заканчиваться. Поэтому ученые считают, что использовать невозобновляемые ископаемые для производства водорода нецелесообразно [4]. Лучшее использование природных ресурсов для развития в другой области.

Во время добычи существует вероятность взрыва из-за повышенного риска взрыва элемента. Летучесть и высокая воспламеняемость водорода затрудняют его транспортировку к конечным пользователям. В заданном объеме его помещается значительно меньше, чем других видов топлива. Существующие бензобаки слишком малы, чтобы вместить необходимое количество водорода на большие расстояния. Для решения этой проблемы модернизируются современные методы перевода водорода в жидкое или газообразное состояние [5]. Его необходимо либо охладить до  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$  для сжижения, либо сжать до давления, в 700 раз превышающего атмосферное, чтобы доставить его в виде сжатого газа. Этот процесс часто приводит к утечкам водорода.

Кроме того, получение небольших количеств природных элементов стоит больших денег, поэтому добыча таких элементов считается неоправданно дорогой.

Таким образом, внедрение водородной энергетики потребует крупного освоения производственных технологий получения водорода. Преимущества примерно равны недостаткам, поэтому скорость распространения, развития и использования данного способа электроэнергии неоднозначно, однако точно можно сказать, что водородная энергетика – это наш запас на будущее.

### **Источники**

1. Василенко А.Б., Тетельмин В.В. Современная энергетика и энергетика будущего. Технология производства. Нетрадиционные источники. Экологическая безопасность. М.: ЛЕОНАНД, 2018. 240 с.

2. Радченко Р.В., Мокрушин А.С., Тюльпа В.В. Водород в энергетике: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 229 с.

3. Фортов В.Е., Попель О.С. Энергетика в современном мире. Долгопрудный: Интеллект, 2011. 167 с.

4. Лабейш В.Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учеб. пособие. СПб.: СЗТУ, 2003. 79 с.

5. Безубцева М.М., Волков В.С. Будущее энергетики человечества: учеб. пособие. СПб.: СПбГАУ, 2014. 133 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

И.А. Мулюкин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

MulyukinIA@nknh.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Р. Загретдинов

В статье рассмотрены мероприятия, способствующие оптимизации систем теплоснабжения. Повышение эффективности работы систем теплоснабжения возможно с помощью определения наиболее оптимальных характеристик теплоносителя. Снижение температуры обратной сетевой воды может привести к заметной экономии при производстве и транспорте тепловой энергии.

**Ключевые слова:** оптимизация, теплоснабжение, тариф, потребитель, температура.

С развитием научно-технического прогресса люди начали жить в более комфортных условиях. На сегодняшний день мы не можем представить свою жизнь без тепло-, водо- и электроснабжения. Они стали настолько привычными, что отсутствие хоть одного из этих благ цивилизации причиняет нам сильнейший дискомфорт.

Анализируя литературные источники на предмет оптимизации теплоснабжения, было выявлено, что у каждого из существующих на сегодня видов снабжения ценообразование напрямую связано с расходами на производство продукции. Обеспечение эффективного взаимодействия источников энергоресурсов и потребителей способствуют их сокращению.

Оптимизация теплоснабжения является одной из наиболее актуальных проблем в сфере обслуживания. Снизить теплопотребление только за счет увеличения ширины теплоизоляционных материалов невозможно. Оптимизация теплоэнергетического снабжения предприятий позволяет обеспечить: безостановочное снабжение потребителей всеми видами энергии, максимально эффективное использование энергоресурсов, сохранение баланса между производством и отпуском энергоресурсов в любой промежуток времени, упрощение при выборе технических характеристик режимов работы энергетических установок и агрегатов и оптимизацию выбора энергоносителей производств [1].

Кроме того, для оптимизации системы теплоснабжения возможно проведение следующих действий: утилизации сбросного тепла технологических установок, оптимизации схемы обеспечения и регулирования теплопотребляющего оборудования, улавливания низкопотенциального тепла, преобразования энергии выделяемой в процессе конденсации пара в электрическую и механическую энергию, а также автоматизации управления системами пароснабжения [2].

Схема централизованного теплоснабжения постоянно совершенствуется за счет присоединения к ней новых потребителей и появления новых участков тепловых сетей. Поэтому, каждый отопительный сезон необходимо менять схему теплоснабжения. Расчёты должны обеспечивать наиболее возможное использование мощности установленного оборудования, рационализацию схем тепловых пунктов, устранение неэкономичных котельных, параллельную работу нескольких источников тепла и поднятие пропускной способности сетей теплоснабжения за счет повышения температуры отпуска.

Повышение эффективности работы систем теплоснабжения возможно с помощью определения наиболее оптимальных характеристик теплоносителя. Немало важную роль играет и сама конструкция. В зависимости от пропускной способности тепловой сети, создаются температурные и расходные графики, определяющие минимальные энергозатраты. При их составлении учитывают температуру наружного воздуха соответствующей географической местности. Данные графики позволяют снизить фактический расход энергии, расчетную температуру теплоносителя, а также потери в тепловой сети [3].

Также, затраты на производство тепла могут быть переменными и постоянными в зависимости от времени года. Переменный тариф энергоснабжения потребителя невыгоден производителю. Связано это с тем, что объем продаж снижается, а затраты остаются на том же уровне. Поэтому, при установке потребителем теплосчетчика, он может сократить свое потребление, но считаться подключенным к максимальной мощности.

При переходе потребителя на переменное потребление для более рационального разделения затрат с потребителями постоянного потребления и для резервирования свободных мощностей на ТЭЦ необходимо ввести в тарифах высокую зафиксированную часть, захватывающую все затраты и нормируемые тепловые потери.

Энергозатраты являются определяющим критерием в эксплуатационных расходах [4]. Так, огромную роль в этих соотношениях несут установленные цены на природный газ и электроэнергию. При оптимизации параметров теплоснабжения необходимо учитывать значения тарифов на энергоресурсы, из которых определяют издержки для их производства.

Главным критерием при отпуске тепла является температура обратной сетевой воды. Вклад со стороны потребителей поможет заметно уменьшить температуру обратной воды и привести к заметной экономии у производителя тепла как за счет удешевления процесса производства тепла, так и за счет уменьшения теплопотерь и диаметров трубопроводов.

Поставщики прибегают к трем способам стимулирования потребителей к снижению температуры обратной воды: введению разного уровня тарифов для высокопотенциального и низкопотенциального тепла, повышающих и понижающих коэффициентов к тарифу при изменении температуры обратной сетевой воды, переменной части графика теплоснабжения.

Таким образом, отсутствие в тарифе мотивации к снижению температуры обратной сетевой воды имеет отрицательные последствия, поскольку дает возможность потребителям использовать только высокопотенциальное тепло, нарушая этим гидравлический режим всей системы, и практически исключая выгоду теплофикации, оплачивая по показаниям теплосчетчика те же деньги, что и в нормальном режиме. В связи с этим, оптимизацию необходимо проводить как с технической, так и с экономической стороны. Совокупность данных мероприятий позволит обеспечить надежное и общедоступное теплоснабжение потребителей.

### **Источники**

1. Якушина И.О., Мизунова М.О. Оптимизация систем теплоснабжения как способ повышения эффективности использования ТЭР // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: матер. IX Межд. межвуз. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 2009. С. 431–434.

2. Rafalskaya T. A. Investigation of failures in operation of heat networks of large heat supply systems // Thermal Engineering. 2017. Vol. 64. Iss. 4. P. 313–317.

3. Температурные графики по источникам теплоты [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://tatgencom.ru/clients/clients-01/temperature/> (дата обращения 05.02.22).

4. Соломин И.Н., Даминов А.З. Влияние механизма тарифообразования на энергосберегающие мероприятия и оптимизацию системы теплоснабжения // Труды Академэнерго. 2013. № 4. С. 51–60.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

И.А. Мулюкин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

MulyukinIA@nknh.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Р. Загретдинов

В системе теплоснабжения каждый день потребляется огромное количество энергии. Наряду с этим, передача тепла сопровождается немалыми потерями. В статье рассмотрены вопросы, касающиеся эффективности систем теплоснабжения и описаны различия между централизованной и децентрализованной системой. Также, проанализированы потери по каждой ступени теплоснабжения, на основе которых выявлена необходимость в контроле оборудования и совершенствования технологии производства в сфере теплоэнергетики и теплотехники.

**Ключевые слова:** теплоснабжение, тепло, система, КПД, ступень, потери.

Теплоснабжение – система обеспечения теплом зданий и сооружений, предназначенного для обеспечения теплового комфорта для находящихся в них людей или для возможности выполнения технологических норм [1]. Эту систему можно рассматривать в трех ступенях:

1. Предприятие, вырабатывающее тепло (ТЭЦ, АЭС).
2. Трубопровод, служащий для передачи тепловой энергии (теплосеть).
3. Потребитель тепловой энергии (отопительные батареи).

В централизованной системе теплоснабжения несколько зданий снабжаются тепловой энергией одним источником. Наряду с ней, существует и обратная, в которой теплоснабжение организовывается каждым потребителем самостоятельно. Децентрализованная система сама по себе подразделяется на индивидуальное теплоснабжение, основанная на самостоятельном отоплении каждой квартиры, и местное, где один источник тепла обеспечивает теплом весь многоквартирный дом [2].

Нами были рассмотрены преимущества и недостатки централизованного отопления по сравнению с децентрализованной системой.



В состав преимуществ входят:

- 1) более равномерный тепловой режим в течении суток;
- 2) надежное и удобное управление;
- 3) отсутствие загрязнения помещения продуктами горения;
- 4) отсутствие затрат труда населения на самостоятельное отопление

помещений и т.д.

Между тем, недостатками являются:

- 1) система работает по строгому сезонному графику;
- 2) потери тепла в процессе передачи;
- 3) износ трубопроводов приводит к частым авариям и перебоям отопления потребителей;
- 4) отсутствие индивидуального регулирования температуры помещения.

Несмотря на отрицательные стороны централизованного теплоснабжения, почти все дома в городах присоединены к общей теплосети. Безопасность, удобство и отсутствие трудозатрат являются основными критериями для большинства потребителей. За счет увеличения потребителей повышается эффективность системы теплоснабжения.

Оценку эффективности работы системы теплоснабжения производят при помощи общепринятого физического показателя – коэффициента полезного действия. КПД подразумевает отношение величины полученной полезной энергии к затраченной энергии на ее производство. Разность затраченной и полезной энергии называется потерями. Следовательно, каждый производитель тепла стремится увеличить свой КПД за счет уменьшения потерь [4].

Потери наблюдаются на всех трех ступенях теплоснабжения и нахождение решения по уменьшению способствует снижению стоимости тепловой энергии для потребителей.

Рассмотрим основные потери по каждой ступени.

1. Ступень производства тепловой энергии.

В этом участке даже при нормальной работе котла всегда существуют 4 вида потерь:

- 1.1. Потери, связанные с утечкой газа из котла и недожогом топлива (<18 %).
- 1.2. Потери, обусловленные обмуровкой котла (<4 %).
- 1.3. Потери собственных нужд котельной (3 %).
- 1.4. Неправильный технологический процесс производства.

Нормальным КПД для котла считается 75–85 %. С каждым годом котлоагрегаты совершенствуются и эти потери становятся меньше [3].

2. Ступень транспортировки тепловой энергии.

Теплотрасса тоже имеет свои потери связанные с:

2.1. Гидравлической настроенностью трассы. Тепло должно правильно распределяться между объектами-потребителями;

2.2. Правильностью укладки и изоляции трубопроводов. Чем длиннее трасса, тем больше энергии теряется на пути;

2.3. КПД сетевых насосов.

2.4. Аварии и утечки тепла.

Потери в нормальном режиме не превышают 5–7 %, но в худших случаях могут достигать 25 %.

3. Ступень потребления тепловой энергии.

У потребителей основными источниками потерь являются:

3.1. Отопление, несоответствующее погодным условиям (<10 %).

3.2. Отсутствие рециркуляции или регуляторов горячей воды в системе ГВС.

3.3. Неравномерное распределение тепла системы отопления (<10 %).

3.4. Утечка тепло в трубчатых бойлерах из-за загрязнения поверхности теплообменников (<10 %)

В случае плохой оптимизации теплоснабжения, существует вероятность потерять до половины выработанной полезной энергии. Для того чтобы снабжение было наиболее эффективным необходимо регулярно следить за качеством элементов системы и совершенствовать технологию производства и передачи на всех ступенях.

### **Источники**

1. Видин Ю.В., Журавлев В. М., Колосов В.В. Теоретические основы теплотехники. Тепломассообмен: учеб. пособие. Красноярск: Издательство ИПЦ КГТУ, 2005. 565 с.

2. Апарцев М.М. Наладка водяных систем централизованного теплоснабжения: спр.-метод. пособие. М: Энергоатомиздат, 2008. 204 с.

3. Бакланова Н.Н., Васичкина А.В., Побережский Г.Р. Котлы и котельные установки зарубежных фирмпроизводителей, представленные на рынке России: отраслевой каталог 04-03. М.: Издательство Инпромкаталог, 2006. 412 с.

4. Данилов О.Л., Гараев А.Б., Яковлев И.В. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник. М.: Издательство МЭИ, 2010. 451 с.

## МЕТОДЫ САНИТАРНОЙ ОБРАБОТКИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ В БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКЕ

Г.Р. Мустафина  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
gulfia999@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. Кондратьев

В статье рассмотрены способы санитарной обработки органических отходов, предназначенные для их переработки в биогазовой установке, с последующим получением конечных продуктов в виде энергии и удобрения. Показана необходимость использования данного процесса. Пути решения современных проблем энергетики заключаются в рациональном использовании источников энергии и топлива. Поэтому появился интерес к глобальному использованию биогазовых технологий с целью утилизации отходов и получения энергии, а также удобрений.

**Ключевые слова:** биогаз, санитарная обработка, дезинфекция, патогенные вещества, выбросы.

Основная часть всех видов органических отходов кроме навоза и некоторых отходов растительного происхождения, предназначенных для переработки, должна проходить этапы санитарной обработки. Целью данного процесса является уничтожение или сокращение количества патогенных микроорганизмов, полученных от животных и растений, нежелательных семян до наиболее приемлемого уровня санитарных условий.

Для снижения содержания патогенных веществ требуется привести сырье в состояние полной пастеризации и к температуре выше 70 °С путем его нагрева. Сырье (в полном объеме, или его некоторая часть, предназначенная для переработки) может подвергаться пастеризации как до, так и после ферментации субстрата [1].

Так же существуют и другие способы обработки сырья, показанные на рис. 1. [2].



Рис. 1. Различные методы санитарной обработки органических отходов.

Рассмотрим первый вариант обработки, в которой используется термофильный режим с температурой выше 50 °С, обеспечивая нагревание каждой частицы в течение по меньшей мере времени удержания процесса и стадии посткомпостирования.

Для повышения качества биогаза и содержания метана необходимо обеспечить постоянную загрузку в метантек, предварительно. От выбора рабочего сырья в установке зависит выходная мощность и содержание биометана (рис. 2).

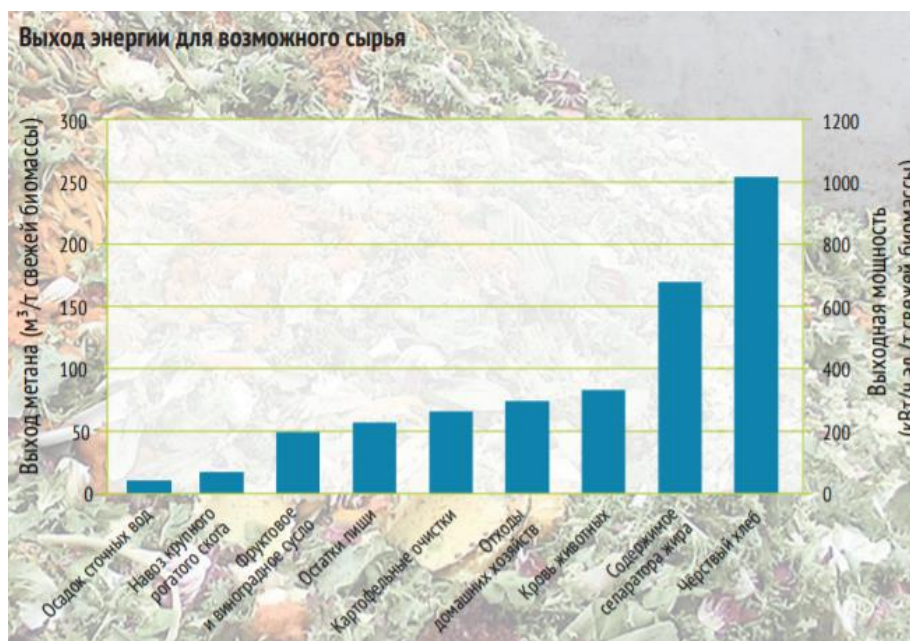


Рис. 2. Выход энергии для возможного сырья

Также возможна обработка известкованием или увлажнением сырья. Вне зависимости от выбранного способа обработки биологическая активность позволяет значительно сократить патогенные вещества уже при более низкой температуре.

Более длительное удержание сырья или его переработку при высоких температурах необходимо только для дезинфекции. Помимо нее возможно получить гарантированную стабилизацию органических отходов в качестве важного шага для удаления запаха, и снижения вредных выбросов.

Тем самым процесс санитарной обработки сырья необходимо применять только при острой необходимости, так как излишняя дезинфекция может привести к уменьшению содержания метана в биогазе.

Несомненно, технология получения биогазового топлива способны усовершенствовать благополучие и качество жизни людей

### **Источники**

1. Мустафина Г.Р. Анализ систем сжигания биогаза // Тинчуринские чтения - 2021 «Энергетика и цифровая трансформация»: матер. Межд. молод. науч. конф. В 3-х т. Т. 2. С. 142-144.

2. Мустафина Г.Р. Эффективность использования биогаза // Тинчуринские чтения - 2021 «Энергетика и цифровая трансформация»: матер. Межд. молод. науч. конф. В 3-х т. Т. 2. С. 144-146.

УДК 631.22.018

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БИОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ**

Г.Р. Мустафина  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
gulfia999@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. Кондратьев

В статье рассмотрены особенности применения биогазовых технологий в сельском хозяйстве, процессы и этапы получения биогаза. Виды переработки сырья и выбор наиболее оптимального их них. Представлена актуальность работы. Анаэробная ферментация органических фракций, в результате переработки которой образуются биогаз, энергия и удобрения, относится к ресурсо- и энергосберегающим технологиям.

**Ключевые слова:** биогаз, компостирование, сжигание, анаэробная ферментация, органическое сырье.

На сегодняшний день наблюдается стремительное развитие альтернативной энергетики по всему миру. В Европе широкое распространение получила установка биогазовых технологий, являющаяся характерным элементом в современности из-за возможности безотходного производства конечных продуктов в виде удобрений и энергии. Несмотря на то, что это является центральным аспектом производства, для многих стран главный интерес проявляется в утилизации сельскохозяйственных и органических твердо-бытовых отходов.

Существует несколько видов переработки данного сырья:

- компостирования;
- сжигание;
- анаэробная ферментация [1].

При компостировании органического сырья возможно извлечь питательные вещества, а сжигание приводит к их потере, но получению энергии. Наиболее рациональным путем переработки является анаэробная ферментация, так как являются совокупностью регенерации энергии и питательных веществ.

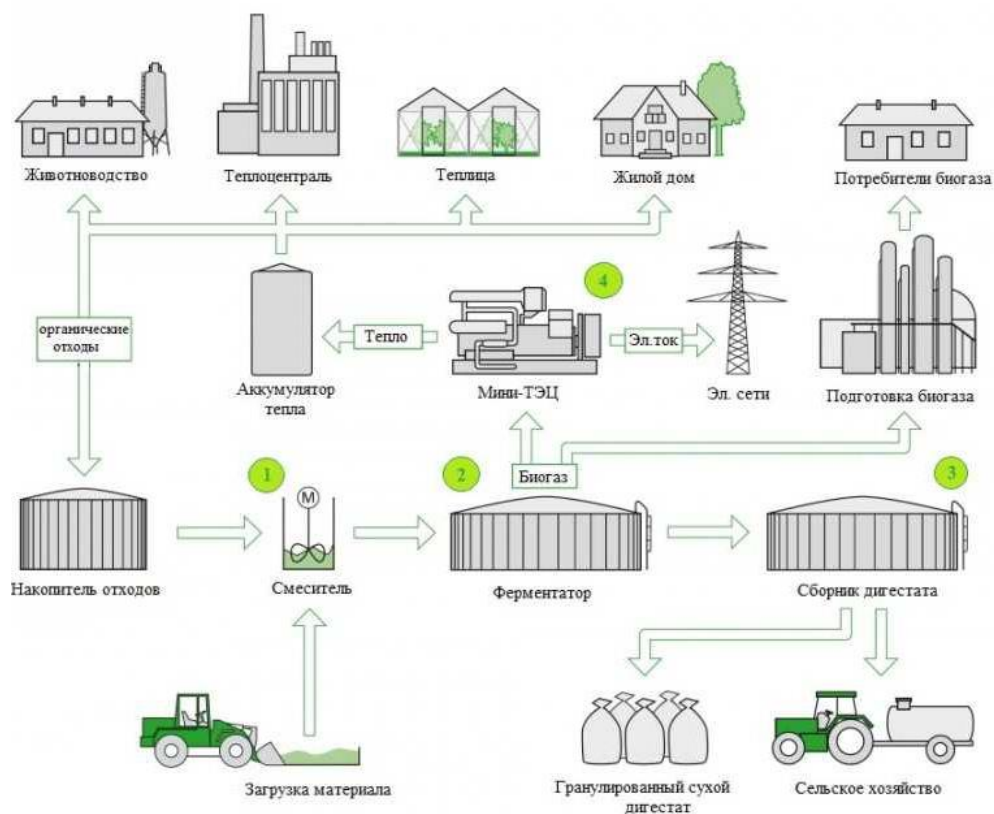
В работе биогазовых установок могут применяться различные виды органического сырья. Так же существует системы их хранения, которые могут быть в виде резервуаров, применяемых для жидких отходов, а при использовании твердых – отстраиваются специальные помещения. В этих закрытых помещениях имеется система сбора воздуха для выполнения последующих этапов переработки [2].

При работе с органическим сырьем устанавливаются дополнительные биофильтры, необходимые для удаления исходящего неприятного запаха.

Главным элементом является ферментатор, предназначенный для анаэробной ферментации. В его верхней части или же в виде отдельного внешнего устройства устанавливается газонепроницаемое хранилище.

При работе установки ТЭЦ обязательна технология очистки газа для высвобождения от продукта переработки соединения серы и воды.

Рациональнее всего использовать данный вид топлива преобразованием газа в электричество и тепло с помощью теплоэлектроцентралей, процесс производства которого показана на рисунке.



Процесс производства

Но перед его использованием необходимо произвести очистку от сероводорода для предотвращения коррозии и остальных металлических элементов, и защиты от воздействия газа бетонных и деревянных конструкций.

Пройдя все этапы переработки, дигестат отправляется в хранилище для последующего применения. Органический осадок после процесса брожения возможно качественно улучшить при помощи разделения на твердые и жидкие фракции, сушки, гранулирования и компостирования. Для уменьшения содержания влажности можно ее извлечь путем вакуумного выпаривания, или мембранной фильтрации, а питательные вещества осаждением или очисткой сточных вод либо отработанного воздуха кислотным промывателем. Это может повысить ценность и привести к более легкому транспортированию.

Для получения высококачественной продукции необходимо обеспечить нормальный режим биореактора, обеспечивая герметичность резервуара, поддерживать постоянный уровень температуры, не допуская резкого поднятия или снижения, вести контроль системы подогрева и устойчивую работу мешалок, и подачу сырья.

Для безопасного применения установки необходимо соответствующее технологическое внедрение оборудования.

## Источники

1. Мустафина Г.Р. Эффективность использования биогаза // Тинчуринские чтения - 2021 «Энергетика и цифровая трансформация»: Матер. Межд. молод. науч. конф. В 3-х т. Т. 2. С. 144-146.

2. Патент № 2422385 С1 Российская Федерация, МПК С02F 11/04. Установка для анаэробного сбраживания органических отходов с получением биогаза: № 2009144467/05: заявл. 30.11.2009: опубл. 27.06.2011 / А.Е. Кондратьев, Г.И. Павлов, С.Г. Борисов, А.Р. Загретдинов.

УДК 621-313.3

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ LABVIEW В СОЗДАНИИ ВИРТУАЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Р.А. Пономарев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

romanponomarevich@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков

В статье предложены основы пользования графического построения экспериментальных приборов в LabVIEW, показано построение простого экспериментального прибора для показания изменения коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов от повышения температуры.

**Ключевые слова:** коэффициент теплопроводности, LabVIEW, установка, энергоэффективность.

В наше время, время высоких технологий, существует огромное количество различных приборов для проведения экспериментов различного характера: измерение состава вещества, площадь поверхности ядра атома, анализ структуры материала. В зависимости от характера эксперимента подбирают определенное оборудование, но, к сожалению, это оборудование является дорогостоящим, т.к. наука в наше время не является сильно финансируемым. Но в начале 21 века, с приходом века цифровизации, ученые начали проводить многие эксперименты с помощью виртуальных приборов и обработчиков информации [1]. Одной из таких платформ является LabVIEW [1].

LabVIEW – программное обеспечение для системного проектирования в отраслях, где требуется проведение испытаний, измерений и осуществление управления, а также быстрый доступ к оборудованию и результатам анализа данных [2].



Для наглядного примера была разработана простая программа для наглядного показания зависимости значения коэффициента теплопроводности некоторых теплоизоляционных материалов от температуры [3]. На рис. 1 показана лицевая панель виртуального прибора, на рис. 2 – блок-схема прибора, благодаря которой он выполняет необходимое нам функции.

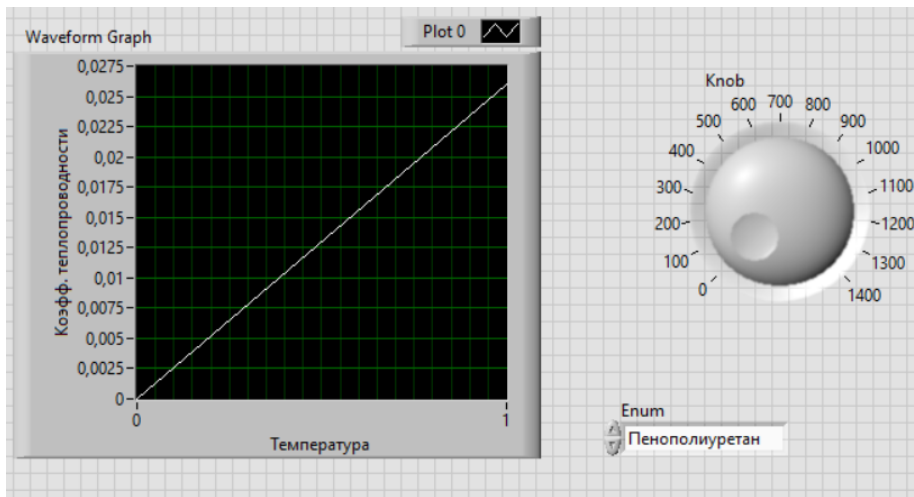


Рис. 1. Лицевая панель

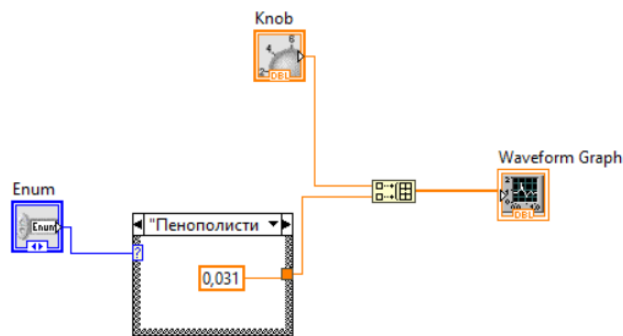


Рис. 2. Панель-блок диаграммы

Данная программа показывает линейное изменение коэффициента теплопроводности от температуры. Она показывает далеко не полный функционал LabVIEW в которой можно сделать даже имитацию полной работы ТЭЦ, поэтому следует уделить внимание дальнейшего изучения данной программной платформы [4]. National Instrument, компания создатель LabVIEW, выпускает новые библиотеки дополнений, позволяющих связать платформу практически с любым языком программирования или измерительным прибором, Выпустила бесплатную версию для комфортного ее освоения [5].

LabVIEW сильно поможет в качестве инструмента для автоматизации технологических процессов, обработчика информации и анализа данных при проведении экспериментов.

### Источники

1. Гусев М.Е., Гуревич В.С., Кузьмина Е.В., Бессонов В.А., Молчанов С.В. Labview в голографии: от эксперимента до результата // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Физико-математические и технические науки. 2005. №1-2. С. 153-163.

2. Орлов В.А., Орлова И.Н. Об использовании среды «LabView» в учебном физическом практикуме // Открытое образование. 2015. №4(111). С. 62-67.

3. Магда Ю.С. LabVIEW практический курс для инженеров и разработчиков. М.: ДМК Пресс, 2012.

4. Жалгасбекова Ж.К., Мухтарова А.Ж. Решение физических и математических задач методом программирования в среде LabVIEW // Евразийский Союз Ученых. 2021. №2-4 (83). С. 11-14.

5. Фомичева О.А. Методика определения коэффициента теплопроводности // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. №11-2. С. 27-31.

УДК 620.9

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЕЛЬНОЙ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ВИНТОВЫХ РАСШИРИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Р.Р. Ротач

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

rita-nurkaeva@mail.ru

Науч. рук. д-р. техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков

Предлагается способ повышения эффективности работы котельного цеха при включении в работу двух паровых котлов, стоявших ранее на консервации, и внедрения винтовых расширительных машин (ВРМ). Предполагается понижать давления пара после котлов в установках ВРМ. При этом будет происходить выработка электроэнергии, которая далее будет использоваться на собственные нужды котельного цеха.

**Ключевые слова:** винтовая расширительная машина; котельная; паровой котел; выработка электроэнергии; собственные нужды котельной.

При анализе современных решений в энергетике прослеживается тенденция к переходу от централизованной к распределенной мини-и-микростроению, которая максимально приближена к конечному потребителю.

С экономической и экологической точки зрения перспективными выглядит применение когенерации, то есть одновременной выработки тепловой и электрической энергии. Актуальность внедрения схем когенерации в России подтверждается следующими обстоятельствами [1]:

– при текущем спаде производства большинство пароводогрейных промышленных и промышленно-отопительных котельных не используют полностью установленные мощности котельного оборудования;

– на источниках тепла – паровых котельных установлены котлы различных типов, вырабатывающие пар с давлением 1,3 МПа. При этом потребители не нуждаются в таком высоком давлении. Поэтому пар в редукционно-охладительных устройствах снижают до давления 0,3–0,4 МПа. При этом также теряется его потенциальная энергия, которая могла бы быть полезно использована [2].

В статье предлагается модернизация КЦ-2 БашРТС-Нефтекамск путем ее надстройки винтовыми расширительными машинами для выработки электроэнергии для покрытия собственных нужд.

Предлагается вариант модернизации котельного цеха, при котором выводятся из консервации один котел ДКВР-20 и один котел ДКВР-10 в неотопительный период года. Пар по выходу из котла будет направляться в винтовую расширительную машину (ВРМ) для снижения давления и выработки электроэнергии на собственные нужды котельного цеха (см. рисунок). Пар, отработавший в турбине, будет поступать в сетевые подогреватели для нагрева сетевой воды для нужд ГВС.

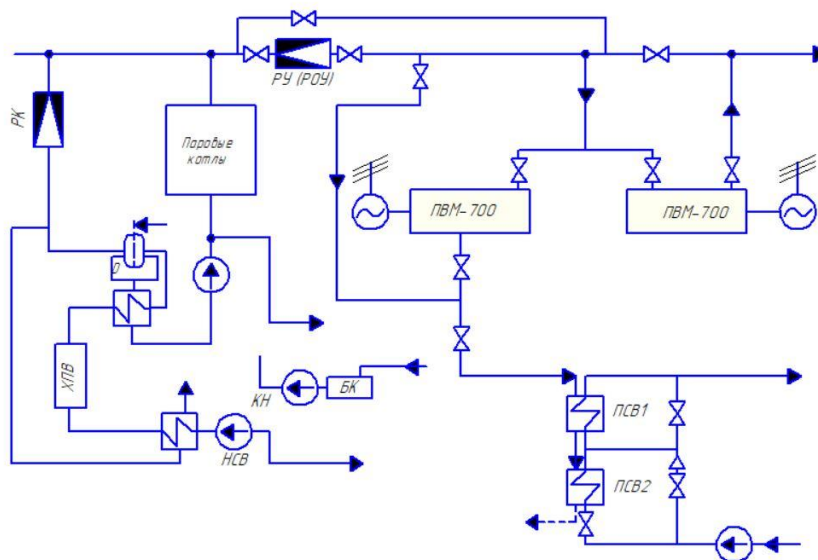


Схема внедрения ВРМ в котельный цех

РК – редуцирующий клапан, РУ – редукционное устройство, ХПВ – химическая подготовка воды, КН – конденсатный насос, БК – бак конденсата, НСВ – насос сетевой воды, ПСВ – подогреватель сетевой воды

По результатам расчетов, выполненных по [3, 4], к установке предлагается 2 ВРМ. Мощность каждой составит 700 кВт. Для нагрева воды для нужд ГВС, предлагается установить 3 сетевых подогревателя. Площадь поверхности каждого составит 270 м<sup>2</sup>.

Средний расход электроэнергии котельного цеха на собственные нужды в неотапительный период составляет 5000 тыс кВт·ч.

При работе ВРМ в неотапительный период года, будет выработано 6000 тыс кВт·ч электроэнергии.

Таким образом, 2 ВРМ полностью покроют затраты на собственные нужды котельной в неотапительный период.

### **Источники**

1. Зарницкий Г.Э., Сергеева Е.Я., Шагинова Н.С. Эффективность использования винтовых детандеров в линии топливного газа компрессорных станций // Экономика газовой промышленности. 2015. №5. С. 17-28.

2. Куличихин В.В., Лазарев О.О. Использование избыточного давления природного газа на промышленных предприятиях // Надежность и безопасность энергетики. 2010. №2. С. 48-54.

3. Гузаиров М.Б., Муравьева Е.А., Соловьев К.А. Компьютерная модель функции выходной мощности паровой винтовой машины // Вестник УГАТУ. 2015. №1. С. 106-111.

4. Ротач Р.Р., Ваньков Ю.В., Зиганшин Ш.Г., Измайлова Е.В. Оптимизация тепловой схемы путем внедрения паровой винтовой машины // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. №21(5). С. 14-21.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОНОЛИТНОГО ПЕНОБЕТОНА ДЛЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ

Л.А. Сагадеева<sup>1</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>laura-sagadeeva@mail.ru, <sup>2</sup>skulinaun@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ю.Н. Звонарева<sup>2</sup>

Главной целью исследования является рассмотрение характеристик монолитного пенобетона, а также сравнение данного материала с другими теплоизоляционными материалами, предназначенными для тепловой изоляции трубопроводов. Результатом авторского исследования стало заключение о том, что применение монолитного пенобетона приведет в будущем к уменьшению тепловых потерь, так как он является достаточно хорошей заменой для ППУ изоляции, которая на данный момент используется чаще всего.

**Ключевые слова:** энергосбережение, энергоэффективность, монолитный пенобетон, тепловая изоляция, трубопровод.

Одним из приоритетных направлений развития экономики России является улучшение и усовершенствование тепловой изоляции трубопроводов [1], так как теплоизоляционные материалы, которые используются на территории РФ в коммунальном хозяйстве около 50 лет, уже не отвечают современным требованиям в области энергосбережения, энергоэффективности и экономических норм. Именно из-за этого часто происходят аварийные ситуации, в том числе наблюдаются огромные тепловые потери, имеющиеся на эксплуатирующихся в текущий момент теплосетях и сетях горячего водоснабжения. Актуальность данной работы заключается в том, чтобы внедрить новые технологии тепловой изоляции, сделать теплоизоляторы более эффективными, долговечными и антикоррозионными, для предотвращения разнообразных жилищно-коммунальных катастроф и тепловых потерь.

В настоящее время используются изоляционные материалы на полимерной основе, которые имеют множество недостатков, например, ограниченная температура теплоносителя (до 130 °С), горючесть, токсичность при возгорании [2].

В том числе, при попадании влаги на пенополиуретан (ППУ) происходит разрушение изоляционного покрытия и интенсивная язвенная коррозия стальной трубы [3], поэтому есть необходимость в установке оперативного дистанционного контроля (ОДК) на трубопроводах с данным теплоизоляционным материалом, это приводит к увеличению цены на такие трубопроводы, соответственно, это увеличивает эксплуатационные расходы [4]. В данном случае альтернативой является использование утеплителей из минеральной ваты со «скорлупным» методом изоляции, но он также подвергается коррозии из-за скопления конденсата между трубой и скорлупой.

Научная новизна исследования состоит в том, что в работе был изучен один из современных способов тепловой изоляции, а именно способ утепления трубопроводов монолитным пенобетоном. Автором предложено более подробно ознакомиться с технологией применения монолитного пенобетона в качестве теплового изолятора для трубопровода. На основе рассмотренных материалов был сделан вывод о том, что данный материал сможет конкурировать с другими тепловыми изоляторами. Благодаря данной работе был выявлен более современный теплоизолятор, который может конкурировать с ППУ изоляцией и минеральной ватой, в том числе, благодаря пенобетону достигается решение проблемы энергоэффективности трубопроводов, что, соответственно, приводит к уменьшению затрат и тепловых потерь. Результатом данного исследования является сводная таблица, где приводятся в сравнении характеристики рассматриваемого монолитного пенобетона и трех других тепловых изоляторов, таких как: минеральная вата, пенополиуретан, стекловолокно.

Сравнительная характеристика пенобетона и других теплоизоляционных материалов

Теплоизолятор	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Термическая стойкость, °С	Стойкость к намоканию	Защита от коррозии при намокании
Пенобетон	200–250	0,057–0,060	–180...+160	Устойчив	Да
Минеральная вата	35–130	0,03–0,052	–60...+450	Нестойкая	Нет
Пенополиуретан	40–80	0,019–0,028	–160...+150	Нестойкий	Нет
Стекловолокно	25–30	0,04–0,043	–60...+250	Нестойкий	Нет

В результате исследования была сформирована сводная таблица технических характеристик пенобетона и его сравнение с другими теплоизоляторами. Практическая значимость данной работы заключается в том, что данный вид теплоизоляционного материала, а именно монолитный пенобетон, не уступает по своим теплоизоляционным качествам пенополиуретановой изоляции, в тоже время сохраняет очень высокую надежность, антикоррозионность, имеет стойкость к намоканию, является достаточно экологически безопасным и прост в эксплуатации. Перспективой развития выбора монолитного пенобетона на территории Республики Татарстан является модернизация всей системы теплоснабжения, уменьшение затрат на борьбу с коррозией, примерно на 15 %, так как материал имеет хорошую антикоррозийную защиту, и уменьшение тепловых потерь, примерно на 10 %, благодаря высокой технологичности и возможности прокладывать трассу на любой местности.

Работа выполнялась в рамках гос. задания № 075-03-2021-175/3.

### **Источники**

1. 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.
2. СНиП 41-02-2003 Тепловые сети: Примечание изготовителя базы данных. М., 2003. 38 с.
3. Мотевич И.С. Применение карбамидных пенопластов с улучшенными свойствами для изоляции трубопроводов и оборудования // Молодежный вестник ИрГТУ. 2018. Т. 8. № 3. С. 89-94.
4. Лундышев И.А. Перспективные технологии применения монолитного пенобетона для теплоизоляции трубопроводов // Инженерно-строительный журнал. 2008. № 1(1). С. 38-41.

## ОБЗОР МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Г.Ш. Ульябаева<sup>1</sup>, С.О. Гапоненко<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань

<sup>1</sup>gulyabaeva@bk.ru, <sup>2</sup>sogaponenko@yandex.ru

В настоящее время число аварий на трубопроводах растет, это в первую очередь связано со старением трубопроводного транспорта и отсутствием средств на проведение капитальных ремонтов. Техническую диагностику проводят с целью обнаружения дефектов, которая позволяет определить остаточный ресурс безопасной работы, определяет сроки безаварийной эксплуатации и в целом дает объективную оценку фактического технического состояния. При проведении диагностики используют различные методы неразрушающего контроля. В данной статье рассмотрены наиболее используемые при диагностике трубопроводного транспорта, такие как: визуально-измерительный, ультразвуковой, магнитный, капиллярный, радиографическая дефектоскопия.

**Ключевые слова:** методы неразрушающего контроля, техническая диагностика, трубопровод.

Трубопроводы на протяжении долгого периода подвергаются самым различным как внутренним, так и внешним воздействиям. Это приводит к деструкции материала, образованию коррозионных повреждений, возникновению трещин усталости и других видов дефектов [1]. Все перечисленное может повлечь за собой серьезные экономические потери и пагубное воздействие на окружающую среду. Во избежание серьезных последствий проводят различные обследования, применяя методы неразрушающего контроля [2].

Существует несколько видов неразрушающего контроля трубопроводов, в которых применяют различные материалы, приборы и технологии, основными из них являются: визуально - измерительный, ультразвуковой, магнитный, капиллярный, радиографическая дефектоскопия.

В основе визуально-измерительного контроля лежит осмотр соединений труб, как визуальный, так и с применением измерительных приборов [3]. Поэтому при применении данной методики возможно определить только внешние дефекты. Для проведения контроля используют простой измерительный прибор, например, линейку или же штангенциркуль. Перед замерами участок с изъяном очищают спиртом, кислотой и т.д. Данный вид диагностики является обязательным, его проводят перед тем, как перейти к другому методу.



Ультразвуковой контроль основывается на акустических изменениях внутри материала [4]. Если же материал однородный и не имеет изъянов, то звук пройдет без изменения своих характеристик и направления. Когда же на пути встречается дефект, то появляются изменения, которые потом отразятся на приемнике. Принцип данного метода заключается в следующем: ультразвук, обладающий сверхвысокой частотой колебания, выпускается из усилителя и проходит через материал. Если он столкнется с дефектом, то отразится от его внутренней поверхности, изменит направление и вернется в приемник. Размер дефекта прямо пропорционален углу преломления.

В основе магнитного контроля лежит такое понятие как магнитная проницаемость [5]. Если данный показатель уменьшается, то это значит, что на пути волнам встретилось препятствие, которое они стали огибать. Именно по этой причине их скорость падает, а время прохождения через материал увеличивается. Для проведения магнитной дефектоскопии используют специальное оборудование, с его помощью сквозь материал пропускают электромагнитные волны. Перед этим на поверхность льют суспензию или же насыпают порошок. Минерал собирается вокруг дефектного участка и тем самым позволяет определить его местоположение.

Капиллярный метод позволяет определить дефекты сварного шва с помощью специальных жидкостей – пенетрантов. Суть очень проста: если пенетрант проходит сквозь материал соединения труб, то значит, в нем присутствует изъян. К данным веществам относятся: керосин, бензол, скипидар и т.д.

Радиографическая дефектоскопия является одним из самых точных способов неразрушающего контроля трубопровода, она позволяет выявить даже самые незначительные изъяны сварного шва, при этом определяя их точное местоположение. В основе данного метода лежит самый обычный рентген [6]. Для проведения диагностики используют установку небольших размеров: она просвечивает материал соединения элементов трубопроводов и отображает их на рентгеновской пленке.

Таким образом, можно сделать вывод, что неразрушающие методы контроля намного упрощают проверку исправности и работоспособности трубопроводного транспорта. Своевременное и достоверное определение технического состояния исключительно важно для оценки остаточного ресурса, а также для планирования и выбора технологии восстановления поврежденных участков.

### Источники

1. Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е., Шакурова Р.З. Методика проведения оперативного диагностирования трубопроводов энергетических систем и комплексов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. №6. С. 188-201.
2. Матросова Ю.Н. Неразрушающий контроль качества материалов. М.: LAP LambertAcademicPublishing, 2019.
3. Ключев В.В., Соснин Ф.Р. Неразрушающий контроль: справочник, Т. 1. Кн. 1. Визуальный и измерительный контроль. М.: Машиностроение, 2008. 323 с.
4. Жумаев К.К., Каландаров Н.О. Выявление внутренних и наружных дефектов трубопроводов ультразвуковыми дефектоскопами // Молодой ученый. 2014. №16. С. 67-67.
5. Гапоненко С.О., Шакурова Р.З. Повышение надежности работы энергетических систем путем определения технического состояния трубопроводов // XIV Межд. молод. науч. конф. «Тинчуринские чтения»: сб. тр. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2019.
6. Гапоненко С.О. Анализ методов и средств неразрушающего контроля технического состояния трубопроводов // Энергия-2021: 16-я всерос. (8-я межд.) науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. В 6 т. Иваново: ИГЭУ им. В.И. Ленина, 2021.

УДК 662.998-494

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

А.Р. Фаздалова<sup>1</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>adelya.fazdalova@mail.ru, <sup>2</sup>yvankov@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков<sup>2</sup>

В данной статье рассмотрена методика исследования теплопроводности базальтового волокна при отрицательных температурах.

**Ключевые слова:** исследование, цилиндр из базальтового волокна, эксперимент.

На сегодняшний день известно, что влияние негативных факторов окружающей среды вызывает изменение свойств теплоизоляционных материалов, которое в свою очередь приводит к увеличению тепловых потерь. Поэтому важным эксплуатационным свойством любого материала является его стойкость к различного рода воздействиям внешних факторов, которые изменяют его механические и физические характеристики. В связи с тем, что для нахождения тепловых потерь с учетом технического состояния теплоизоляции не имеются специализированные приборы и способы измерений, необходимо проведение исследований, итогом которых будет являться методика контроля состояния тепловой изоляции с помощью инструментального комплекса, созданного на основании измерителя плотности тепловых потоков и температуры [1].

Для решения задач по определению теплопроводности разных тел целесообразно использовать аналитические решения, но эти решения, учитывающие переменность свойств теплопроводности от температуры, практически отсутствуют. Для проверки трудоемких числовых решений уместно использовать результаты эксперимента [2].

В целях исследования коэффициента теплопроводности изоляции из базальтового волокна проводились лабораторные испытания 6 образцов материала, подверженных циклическому замораживанию и оттаиванию. Число циклов замораживания было принято следующим: 5, 11, 15, 20, 25, 30. Далее замороженные образцы с массовым содержанием влаги подвергались тепловому воздействию при температурах от 50 до 150 °С [3].

Исследование теплофизических свойств 6 образцов базальтовой изоляции было экспериментально осуществлено на лабораторном стенде. Проверка состояния изоляции трубопроводов в условиях эксплуатации реализована с помощью устройства, в основе работы которого лежит метод дополнительной стенки, который заключается в следующем: к поверхности стенки, тепловые потери которой необходимо найти, плотно прижимается дополнительная стенка с известными теплопроводностью  $\lambda$ , толщиной  $\delta$ , и, как следствие, термическим сопротивлением  $R$ .

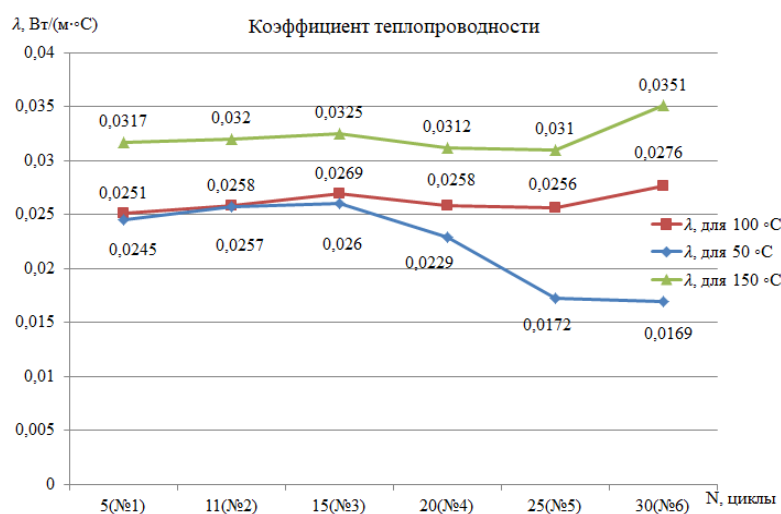
Экспериментальная установка включает в себя металлическую цилиндрическую трубу со встроенным электрическим нагревателем, сверху которой размещен теплоизоляционный материал на основе базальтового волокна [4].

Нагрев цилиндрических образцов проводился электрическим ТЭНом, с возможностью регулировки температуры поверхности до 400 °С.

Измерения и обработка экспериментальных данных проводились на оборудовании и программном обеспечении фирмы National Instruments. С помощью высокопроизводительной модульной системой согласования сигналов SCXI 1102 осуществлялась регистрация сигналов датчиков теплового потока. Поддержание заданной температуры нагрева выполнялось микропроцессорным контроллером Температура поверхности нагрева и температуры контрольных точек определялись Хромель-Алюмелевыми термопарами [5].

Так же была реализована система сбора данных в среде графического программирования LabVIEW. Для проведения исследований, в лабораторных условиях была собрана установка, состоящая из устройства сбора данных, лабораторного регулирующего автотрансформатора, фрагмента стальной трубы с базальтовой изоляцией, нагревателя, датчика теплового потока

По найденным значениям плотности теплового потока определили коэффициент теплопроводности исследуемого материала (см. рисунок).



Результаты исследований. Зависимость значений коэффициента теплопроводности при различных циклах заморозки теплоизоляционного материала

Данная методика исследования коэффициента теплопроводности позволяет повысить точности измерения удельных линейных тепловых потерь через тепловую изоляцию трубопроводов, выполненную из волокнистых теплоизоляционных материалов различной плотности.

Работа выполнялась в рамках гос. задания №075-03-2021-175/3.

## Источники

1. Ваньков Ю. В., Базукова Э. Р., Якимов Н. Д. [и др.]. Исследование температурной деструкции теплоизоляции паропровода // Труды Академэнерго. 2019. № 4(57). С. 98-108.

2. Устройство для измерения плотности теплового потока / Э.Р. Базукова, Ю.В. Ваньков, С.О. Гапоненко [и др.]. Патент на полезную модель № 204511 U1 Российская Федерация, МПК.

3. Ваньков Ю.В., Базукова Э.Р., Исламова С.И., Бусаров А.В. Оценка транспортных потерь тепла при старении изоляции // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2017. № 1. С. 572-576.

4. 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

5. Базукова Э.Р., Ваньков Ю.В., Гапоненко С.О., Смирнов Н.Н. Исследование коэффициента теплопроводности изоляции из базальтового волокна при различных температурных режимах // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2021. № 4. С. 15-24.

УДК 536.2

## ОЦЕНКА ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛОТЫ ТРУБОПРОВОДА, ПОКРЫТОГО КРАСКОЙ С МИКРОСФЕРАМИ

А.О. Федотова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

nastya2505fedotova@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков

В статье рассмотрено применение программного комплекса COMSOL Multiphysics для исследования тепловых потерь через трубопровод, покрытый энергосберегающей краской разной толщины.

**Ключевые слова:** стационарный процесс, теплопроводность, геометрия модели, энергосберегающая краска, пустотелые сферы.

Автоматизация расчетов теплотехнических характеристик объектов широко используется инженерами при проектировании зданий и сооружений с целью упрощения подбора конструктивных решений, удовлетворяющих требованиям энергоэффективности. Для этого используются различные программные пакеты 3D моделирования.

COMSOL Multiphysics – современный программный комплекс, состоящий из интерактивной среды и расчетных модулей, предназначенных для моделирования и проведения расчетов [1].

В работе был смоделирован стационарный процесс передачи теплоты по трубопроводу с  $D_y=250$  мм, покрытому тепловой изоляцией в виде энергосберегающей краски с содержанием микросфер 32,6 %, коэффициент теплопроводности которой, согласно [2], равен 0,019 Вт/(м·К), разной толщины: 0,5 мм, 1,5 мм и 3 мм, в COMSOL Multiphysics.

Энергосберегающие краски – тонкопленочные покрытия, эмульсии, состоящие из связующего компонента и микроскопических пустотелых сфер диаметром 0,03–0,1 мм. В зависимости от количества и строения сфер, а также от состава связующего компонента изменяется коэффициент теплопроводности данных материалов, который, согласно информации производителей, находится в пределах от 0,001 до 0,028 Вт/(м·К) [3].

В работе была смоделирована геометрия трубопровода, изоляции на нем (рис. 1), заданы значения коэффициентов теплоотдачи и температура для воды в трубе ( $\alpha_{\text{воды}}=3000$  Вт/(м<sup>2</sup>·К),  $t_{\text{воды}}=115$  °С) и воздуха снаружи ( $\alpha_{\text{в}}=18$  Вт/(м<sup>2</sup>·К),  $t_{\text{в}}=5$  °С), коэффициент теплопроводности материала трубы ( $\lambda_{\text{тр}}=80$  Вт/(м·К)) и энергосберегающей краски ( $\lambda_{\text{из}}=0,019$  Вт/(м·К)).

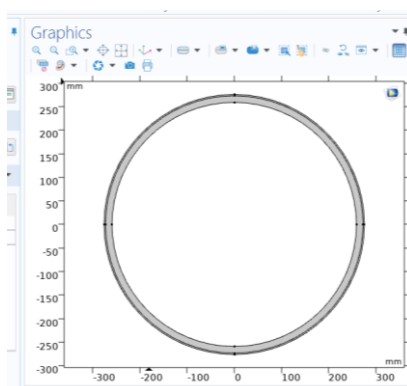


Рис. 1. Модель трубопровода

В результате расчета были получены распределения тепловых потоков по данной модели (рис. 2).

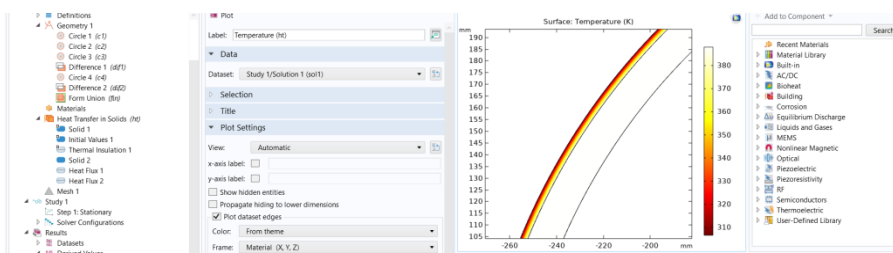


Рис. 2. Отображение тепловых потоков

Также были рассчитаны следующие параметры: удельный тепловой поток через изоляцию ( $q$ ), температуры внутренней ( $t_1$ ) и внешней стенок трубы ( $t_2$ ), на поверхности изоляции ( $t_3$ ), а также разницы температур между ними: внутри и снаружи трубы ( $\Delta t_{12}$ ), внутри и снаружи тепловой изоляции ( $\Delta t_{23}$ ) (табл. 1, рис. 3).

Таблица 1

Результаты расчета изоляции разной толщины

Толщина, мм	$q$ , Вт/м	$t_1$ , °C	$t_2$ , °C	$t_3$ , °C	$\Delta t_{12}$ , °C	$\Delta t_{23}$ , °C
0,5	1157,124	114,53	114,29	79,139	0,2402	35,1508
1,5	705,186	114,713	114,566	50,183	0,1469	64,3831
3	443,929	114,818	114,725	33,443	0,093	81,2817

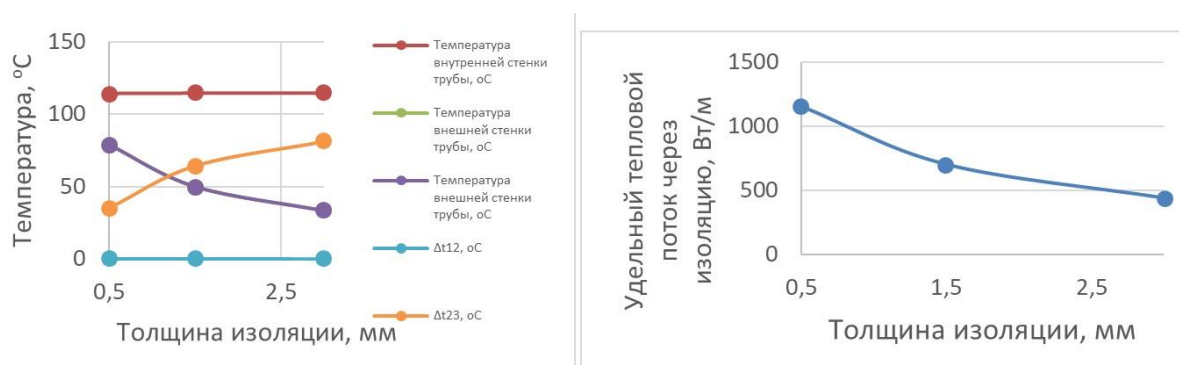


Рис. 3. Результаты расчета

Использование COMSOL Multiphysics позволило произвести расчет основных показателей при моделировании стационарного процесса передачи теплоты по трубопроводу, покрытому краской с микросферами, и выявить следующие закономерности: с увеличением толщины энергосберегающей краски произошло уменьшение удельного теплового потока через изоляцию и температуры на ней, тогда как температуры на внутренней и внешней стенках трубы увеличивались [4].

Работа выполнялась в рамках гос. задания № 075-03-2021-175/3.

### Источники

1. Pryor Roger W. Multiphysics Modeling: Using COMSOL 5 and MATLAB. Mercury Learning & Information, LLC, 2015. 700 p.

2. Бухмиров В.В., Гаськов А.К. Применение тонкопленочных покрытий в целях энергосбережения // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2015. № 5. С. 26-31.

3. Калбекова М.Ж., Марс Кызы Т.б., Ормош Кызы А., Калмурзаева А.Т. Мультифизическое моделирование процесса теплопроводности // Вестник Ошского государственного университета. 2021. Т. 1. № 1. С. 155-165.

4. Карев Д.С., Мельников В.М., Иванченко А.Б. Расчет потерь теплоты при ее передаче по теплопроводу с применением САД/САЕ-технологий // Вестник КГЭУ. 2017. №4 (36). С. 65-73.

УДК 620.9

## **ВОДОРОДНЫЙ КОТЕЛ КАК ИСТОЧНИК АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Н.Т. Хайруллина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

hair.naz@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ш.Г. Зиганшин

В данной статье рассмотрен альтернативный источник энергии - водородный котел. Изучен принцип его работы, выявлены достоинства и недостатки.

**Ключевые слова:** котел, водород, возобновляемые источники энергии.

Все чаще в наше время поднимается проблема о необходимости развития возобновляемой энергетики во всем мире. В соответствии с Федеральным законом России № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» энергетическая политика страны направлена на развитие и исследование альтернативной энергетики, создание правовых основ стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Основные положения политики России в области энергетики изложены в Распоряжении Правительства РФ «Об утверждении энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года». Основная цель политики заключается в снижении потребления традиционных энергетических ресурсов и максимальное использование возможностей нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Увеличение численности населения страны, постоянно растущие города, развитие инфраструктуры и промышленности приводит к увеличению энергопотребления, и как следствие, к истощению традиционных энергоресурсов [1].



Одним из перспективных вариантов для целей теплоснабжения зданий и сооружений является водородная энергетика. Водород имеет ряд достоинств, делающих сегодня его использование рентабельным: он обладает большой энергетической эффективностью и химической активностью. В результате его горения образуется экологически чистый продукт - вода, которая не наносит вреда окружающей среде. Однако есть и недостатки; основные из них – высокая стоимость производства и повышенные требования к эксплуатации в связи с пожароопасностью.

Не так давно на отечественном рынке появился уникальный продукт - водородный котел, созданный для теплоснабжения помещений. Принцип работы водородного котла заключается в том, что через воду пропускается электрический ток, в результате этого она распадается на кислород и водород. После этого при взаимодействии молекул кислорода и водорода совершается реакция, в итоге которой образуется газ Брауна. Отопительный процесс очень прост: в резервуаре котла при температуре в 300 °С газ вступает в реакцию с кислородом, получая при этом воду и пар, которые и распространяются по системе трубопроводов внутри зданий и тем самым позволяют обеспечить нормальную температуру в здании [2].

Из достоинств данного вида отопления можно выделить его экологичность, водород не имеет продуктов горения и при использовании водородного котла не нужен дымоход, также у него высокая теплотворная способность. Как химический элемент водород встречается очень часто, поэтому принято условно считать его неисчерпаемым, но он существует только в молекулярных соединениях, из которых его нужно выделять [3].

Однако, если объективно оценивать водородный котел с экономической точки зрения, то он не выгоден. Он проигрывает на фоне газовых и электрических агрегатов. Также его существенными недостатками являются опасная эксплуатация и низкая энергетическая эффективность. К тому же квалифицированных специалистов, которые могли бы грамотно эксплуатировать и обслуживать данное оборудование на сегодняшний день очень мало [4].

Если рассуждать об успехе использования водородной энергии, то он, конечно, есть, но нужно понимать – долгосрочные перспективы связаны с будущими технологиями, которые ещё недостаточно развиты, поэтому все эти котлы будут убыточны в ближайшем будущем. В настоящее время их ограниченное внедрение возможно лишь в рамках экспериментальных экологических программ.

## Источники

1. Федоров В. [и др.] Проблемы и перспективы использования возобновляемых источников энергии // Национальные приоритеты России. 2017. № 5 (27).

2. Савина Н.В., Е.Ю. Артюшевская. Актуальные проблемы реализации Федерального Закона №261 от 23.11.2009 в Российской Федерации в части теплоснабжения // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. № 1-2. С. 33-38.

3. Айрапетова А.Г., Ластовка И.В. Возобновляемые источники энергии как новый тренд развития мирового энергетического рынка // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2019. № 5-1 (119).

4. Раменский А.Ю. Водород в качестве топлива: предмет и цели стандартизации // Альтернативная энергетика и экология. 2015. № 1. С. 35-43.

УДК 620.92

## АККУМУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА НА ОСНОВЕ ВЕЩЕСТВ С ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ

Д.Р. Хакимов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

hakim.1999.210@gmail.com

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков

Рассмотрен вопрос разработки энергоэффективных систем теплоснабжения с использованием накопителей тепловой энергии. Сформулированы различные предложения к применению. Показаны достоинства веществ с фазовым переходом, а также их недостатки. Описаны сведения о свойствах отдельных веществ. Сделан вывод о преимуществах использования накопителей тепловой энергии.

**Ключевые слова:** аккумулялирование тепловой энергии, вещества с фазовым переходом, теплообмен.

Аккумулялирование тепловой энергии осуществляется с помощью самых разных технологий. В зависимости от определенной технологии, она способна хранить и использовать избыточную тепловую энергию часами, днями, месяцами. Примерами использования такой системы являются балансировки потребности в энергии между дневным и ночным временем, накопление летнего тепла для зимнего отопления или зимнего холода для летнего кондиционирования воздуха [1, 2].

Солнечная энергия – это пример применения аккумулирования тепловой энергии. Большинство систем, активного солнечного отопления, обеспечивают хранение собранной энергии от нескольких часов до нескольких месяцев. Поэтому растет число объектов, которые используют сезонное хранение тепловой энергии (STES), что позволяет хранить солнечную энергию летом для использования в отоплении помещений зимой [3–5]. Солнечное сообщество Drake Landing в Альберте, в настоящее время достигла 97 % доли солнечного нагрева в течение всего года, что является мировым рекордом, который стал возможным только благодаря включению STES.

Сезонное хранение тепловой энергии (STES), также известное как межсезонное хранение тепловой энергии, представляет из себя хранение холода или тепла на период, который может достигать до нескольких месяцев. Тепловая энергия может собираться всякий раз, когда она доступна, и использоваться, когда это необходимо, например, в противоположное время года. Отработанное тепло промышленных процессов можно аналогичным образом хранить и использовать гораздо позже.

В последние десятилетия аккумулированию тепловой энергии с использованием веществ с фазовым переходом уделяется все больше и больше внимания. К достоинствам использования ВФП можно отнести: относительную высокую массовую и объемную плотность хранения тепловой энергии (примерно 5–14 раз выше по сравнению с аккумулирующими жидкостями), химическую стабильность, постоянную температуру фазового перехода и экономическую эффективность.

Веществам с фазовым переходом предъявляют следующие требования: отсутствие токсичности, негорючесть, высокая плотность и теплопроводность, близкое к атмосферному давление, незначительное изменение при фазовом переходе, а также отсутствие различных деградации в процессе эксплуатации.

В тепловых накопителях часто применяют вещества типа «твердое тело–жидкость», которые в свою очередь подразделяются на неорганические, органические и эвтектики.

Эвтектикам и гидратам солей, благодаря большим величинам удельной теплоты фазового перехода, посвящено много исследований. Достоинства: небольшая цена и не подвержены горению. Недостаткам: расслаивание на границе раздела фаз при фазовых переходах. Типичными парафиновыми восками являются: состоящие из алканов прямой цепи, насыщенные углеводородные смеси.

Жирные кислоты и парафиновые воски химически инертны, поэтому при множественных фазовых переходах остаются стабильными, имеют малые температуры переохлаждения. Однако обладают относительно высокой стоимостью и низкой теплопроводностью. Вследствие этого уменьшается интенсивность теплообмена в процессах зарядки и разрядки аккумуляторов тепловой энергии. Интенсифицировать перенос теплоты позволяют в частности введение в ВФП частиц материалов с высокой теплопроводностью (в том числе наночастиц). В пример можно привести порошок алюминия или наночастиц графита, микрокапсулирование и использование оребренных поверхностей в теплообменных аппаратах. Теплопроводность также может быть увеличена вследствие применения пропитки парафином пористых графитовых и других матриц (RT-42, Rubitherm, Германия).

Таким образом, представленный в статье материал свидетельствует о том, что накопление тепловой энергии с последующим ее использованием в системах нагрева повышает эффективность, сокращая энергопотребление. Развитие подобных систем сегодня актуальная научнотехническая задача, так как потребление энергетических ресурсов мировым сообществом постоянно возрастает.

### **Источники**

1. Saeed R.M., Schlegel J.P., Castano C., Sawafta R. Preparation and enhanced thermal performance of novel (solid to gel) form-stable eutectic PCM modified by nano-graphene platelets // *Journal of Energy Storage*. 2018. №15. Pp. 91–102.

2. Saeed R.M., Schlegel J.P., Castano C., Sawafta R., Kuturu V. Preparation and thermal performance of methyl palmitate and lauric acid eutectic mixture as phase change material (PCM) // *Journal of Energy Storage*. 2017. №13. Pp. 418–424.

3. Wong B. Drake Landing Solar Community Archived 4 March 2016 at the Wayback Machine. Presentation at IDEA/CDEA District Energy/CHP 2011 Conference. Toronto, 26–29 June 2011.

4. SunStor-4 Project, Marstal, Denmark. The solar district heating system, which has an interseasonal pit storage, is being expanded.

5. Thermal Energy Storage in ThermalBanks // ICAX Ltd, London. Archived from the original on 14 November 2011. Retrieved 21 November 2011.

## ФРАКТАЛЬНЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Н.А. Хасанов<sup>1</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>niyazhasan144@mail.ru, <sup>2</sup>azagretdinov@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Р. Загретдинов<sup>2</sup>

В статье рассмотрен фрактальный метод анализа виброакустических сигналов и представлены его краткие характеристики.

**Ключевые слова:** диагностика, вибрация, сигнал, временные ряды, фрактальный анализ.

Проблема контроля технического состояния оборудования в процессе его работы актуальна в связи с переходом от принципа «планово-предупредительного обслуживания» к принципу «обслуживания по состоянию». Исходя из этого, появилась потребность отслеживания состояния оборудования и постоянного наблюдения за его работой [1].

Временные ряды наблюдения являются основным источником информации о состоянии объекта диагностирования. На их основе определяются различные характеристики процесса. Обычно все эти ряды состоят из сложных нелинейных систем, описание которых достаточно затруднительно представлять в виде дифференциальных уравнений или дискретных отображений. Однако, эти ряды, как правило, являются фрактальными. Не смотря на свою нерегулярность, характер их поведения остается неизменным на всех масштабах, вплоть до самого минимального [2].

Фракталы представляют собой геометрические объекты: линии, поверхности, а также пространственные тела, которые имеют сильно изрезанную форму и обладают свойствами самоподобия.

Основные свойства фрактальных множеств:

- фракталы имеют тонкую структуру, т.е., содержат произвольно малые масштабы;
- фракталы являются нерегулярными множествами, поэтому их невозможно описать на традиционном геометрическом языке;
- фрактальная размерность больше топологической;
- фракталы имеют форму самоподобия;
- в большинстве случаев фракталы определяются очень просто (например, рекурсивно).

Теория фракталов – это один из многообещающих направлений математической обработки вибросигналов. Основной задачей фрактального метода является определение фрактальной размерности виброакустических сигналов, которые поступают с объекта исследования.

Среди достоинств фрактального метода анализа виброакустических сигналов можно выделить:

- наглядность и простота описания сложных случайных процессов;
- возможность выявлять скрытые закономерности у случайных сигналов;
- возможность прогнозировать тенденции развития явления или процесса [3].

### **Источники**

1. Ихлазов С.З. Фрактальные методы анализа параметров объектов диагностики: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.11.13. Омск, 2013. 18 с.

2. Ихласов С.З. Практическое применение методов фрактального анализа // Журнал радиоэлектроники. 2012. №3. 8 с.

3. Латыпова Н.В. Фрактальный анализ: учеб. пособие. Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2020. 120 с.

УДК 620.9

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ**

А.Н. Хисамутдинов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

hisamutdinov.hsooo@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ш.Г. Зиганшин

В работе рассмотрены возможности внедрения энергосберегающих мероприятий на химические предприятия, представлены характеристики современных энергосистем химических предприятий, выявлены основные направления в энергосбережении данных систем.

**Ключевые слова:** химическое предприятие, энергосбережение, энергоэффективность, тепловые потери, энергоресурсы.

Низкая энергоэффективность является одной из главных проблем в сфере теплоснабжения нашей страны. На всех последовательных этапах добычи, переработки, транспортировки, преобразования и распределения тепловой энергии, теряется значительное количество тепла. Для полезного использования энергоресурсов необходимо проводить энергосберегающие мероприятия, а также снижать неоправданно высокое потребление топлива.

Химические предприятия производят большое количество разнообразных продуктов органического синтеза. На предприятиях химической промышленности изготавливаются лакокрасочные материалы, удобрения, синтетические волокна и многое другое [1].

Одним из важнейших направлений энергосбережения на химическом производстве является снижение энергетических затрат. Для данной цели осуществляются проекты, связанные с оптимизацией режимов работы оборудования и модернизацией основных технологических процессов. Кроме этого, к энергосберегающим мероприятиям, которые можно применить на химических предприятиях, можно отнести:

- установку приборов учета;
- повышение надежности;
- совершенствование нормирования тепловой энергии на выработку единицы продукции;
- повышение качества тепловой изоляции оборудования и трубопроводов;
- повышение КПД путем автоматизации процессов;
- модернизацию оборудования и его рациональную компоновку;
- плановую замену действующих агрегатов на агрегаты нового поколения;
- широкое использование сбросной энергии для технологических нужд в системах промышленной теплофикации [2].

Для снижения доли затрат энергоресурсов на отопление химического предприятия необходимо обеспечить хорошую теплоизоляцию стен зданий, использовать вторичные топливно-энергетические ресурсы (попутный газ, сбросные воды), максимально применять рекуперацию тепла в технологических установках, в качестве отопительных систем применять тепловые насосы и солнечные коллекторы, низкотемпературные системы (теплый пол). Это позволит сократить расходы топливных ресурсов в 1,5–2 раза [3].

Переработка попутных продуктов в химической промышленности является одной из важнейших задач. Перспективным решением могут стать теплоэнергетические установки на топливных элементах – устройствах, которые эффективно вырабатывают постоянный электрический ток и тепловую энергию из богатого водородом топлива (попутный нефтяной газ) путем электрохимической реакции [4].

### **Источники**

1. Тараканова А.И. в химической промышленности и нефтепереработке // Актуальные проблемы энергетики: матер. 74-й науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Минск: БНТУ, 2018. С. 517-520.

2. Жукова В.А., Коваленко М.В., Кузин М.А. Модернизация технологий энерго- и ресурсосбережения в химической промышленности // Символ науки. 2020. № 5. С. 27-28.

3. Перспективы инновационного развития химической промышленности [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-innovatsionnogo-razvitiya-predpriyatiy-himicheskoy-promyshlennosti-1> (дата обращения 07.03.2022).

4. Глаголева О.Ф. Пискунов И.В. Энергосбережение - приоритетная задача современной нефтегазопереработки // Деловой журнал NEFTEGAZ.RU. 2021. № 1 (109). С. 32-35.

УДК 621.548

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ**

К.Л. Хусаинова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

k-khusainova04@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. Кондратьев

Рассмотрены основные перспективы ветровой энергетики в России, области применения и основы конструкции ветровых генераторов.

**Ключевые слова:** энергия, ветроэнергетика, ветрогенераторы.

Запасов угля, нефти и газа на Земле с каждым днём становится всё меньше, к тому же добыча этих ископаемых загрязняет нашу планету, именно поэтому необходимо осваивать экологичные источники энергии, одним из которых является ветроэнергетика.



Энергия ветра – неисчезаемый вид энергии, характеризующийся превращением кинетической энергии воздушных масс в атмосфере в механическую при помощи ветрогенератора, ветряной мельницы или паруса.

Для ветроэнергетики предпочтительны территории со средними скоростями ветра выше 7 м/с. В нашей стране под эти критерии подходит берег Северного ледовитого океана от Кольского полуострова до Берингова пролива и арктические острова, а так же Дальний восток. На юге европейской части России скорость ветра составляет 6-9 м/с, её достаточно для развития ветроэнергетики. Самой ветреной территорией в столице республики Татарстан является село Красновидово Камско-Устьинского района, то есть использование энергии ветра в Казани возможно [1].

Самыми эффективными ветроэнергетическими установками (ВЭУ) являются ветрогенераторы с 3 лопастями и вертикальной осью вращения. В России ветрогенераторы с горизонтальной осью вращения, стартовая скорость которых начинается от 3–6 м/с, в основном неприменяются. Это связано с тем, что в нашей стране среднегодовая скорость ветра не превышает 5 м/с. Для вертикального ветрогенератора достаточно ветра со скоростью 1 м/с, чтобы начать производить электроэнергию. Наиболее прогрессивной технологией является сочетание двух видов генераторов в одном устройстве, а именно вертикального ветрогенератора и теплового насоса. Вместе они производят достаточное количество электрической и тепловой энергии во многих частях России [2].

Наилучшими территориями источников ветра являются прибрежные зоны, но строительство на расстоянии 10-12 км от берега, чем на суше ветроэнергетических установок обойдётся практически в два раза дороже. Такие установки называют офшорными ветряными электростанциями, башни которых устанавливаются на фундаменты из свай, забитых на глубину до тридцати метров. Ещё она состоит из распределительных подстанций и подводных кабелей до берега.

Основные характеристики ветрогенераторов: его номинальная мощность и размер; объём вырабатываемой энергии; расчётная, стартовая и максимальная эксплуатационная скорости ветра; способ регулирования ветрогенераторов; высота мачты; шум [3].

Сами ветроэнергетические установки очень шумные, их звук действует отрицательно не только на людей, но и на зверей, поэтому в районах ветропарков не селятся животные и птицы. Также ветроэнергетические установки требуют больших территорий, ведь необходимо, чтобы лопасти не пересекались друг с другом [4].

Современные компании отдают предпочтение большим ветрогенераторам для постоянной работы систем энергообеспечения. Примером является европейский ветрогенератор 1,5 МВт на 690 В с тремя лопастями и диаметром ветроколеса 70–87 м, а его вес составляет 61500 кг, самое главное, что данная установка может производить электрический ток, сохраняя абсолютную жизненную безопасность животных и людей.

Нынешняя ветряная электростанция производит энергию уже при скорости ветра, равной 4 м/с, и перестаёт работать при скорости около 25 м/с. Механизм рыскания поворачивает ротор в направление, где преобладает ветер. Трансформатор преобразовывает напряжение, требующееся для электрической сети. Он может быть установлен в башню или у её основания.

В настоящий момент ветровые энергетические установки представлены в семидесяти пяти странах мира. Ведущими по развитию ветроэнергетики являются Китай, Индия, страны Америки.

Так как наша страна обширных размеров и имеет различные климатические пояса, прогрессу ветроэнергетики способствует огромный технический потенциал. Вследствие значительного расстояния между населенными пунктами для более половины территорий России не доступно централизованное электроснабжение. Способом решения данной проблемы может стать ветроэнергетика, имеющая огромные перспективы развития. Скорее всего, в будущем Россия будет занимать лидирующее место по переработке энергии ветра.

Таким образом, у ветроэнергетических станций много положительных сторон: на их сооружение не требуются огромных затрат, они не загрязняют воздух и не используют воду, это помогает снизить нагрузку на водные ресурсы. Анализ преимуществ ветровой энергетики поэтому энергия ветра обладает перспективой в развитии отраслей альтернативной энергетики в будущем [5].

### **Источники**

1. Захарова В.Е. Перспективы использования ветроэнергетических установок в России и за рубежом // Научному прогрессу – творчество молодых. 2017. № 2. С. 129-130.

2. Шарафисламова Э.А., Кондратьев А.Е. Совместная работа теплового насоса с ветрогенератором малой мощности // Научному прогрессу – творчество молодых. 2016. № 2. С. 256-258.

3. Захарова В.Е., Кондратьев А.Е. Энергообеспечение частного дома с помощью ВЭУ малой мощности // Научные исследования и разработки в эпоху глобализации: сб. статей межд. науч.-практ. конф. Пермь: ООО «Аэтерна», 2016. С. 60-62.

4. Федотова А.О. Анализ эффективности применения ветроэнергетических установок // Научному прогрессу – творчество молодых. 2020. № 2. С. 67-69.

5. Хайруллина А.И. Варианты применения ветрогенераторов для систем отопления // Научному прогрессу – творчество молодых. 2020. № 2. С. 70-71.

УДК 620.93

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛА УХОДЯЩИХ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ В ПУТЕВЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЯХ**

А.А. Черный

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

blackksandermobile@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ю.Н. Звонарева

В работе рассмотрен метод повышения КПД подогревателя путем использования энергии тепла уходящих в атмосферу топочных газов в действующих системах подогрева углеводородного сырья на объектах подготовки и перекачки нефти.

**Ключевые слова:** путевой подогреватель, дымовые газы, подогрев воздуха, КПД.

В настоящее время изменения существующих схем воздухозабора и организация предварительного подогрева воздуха на промышленных предприятиях ограничены.

Причинами ограничений являются технические характеристики оборудования и соблюдение требований норм пожарной безопасности.

Во многих случаях оснащение существующих подогревателей системой предварительного подогрева воздуха является сложным мероприятием, а эффективность от его внедрения незначительна.

Для исключения конденсации водяных паров на газоходах и дымовых трубах, а также для увеличения естественной тяги, снижающей напор дымососа, температуру уходящих дымовых газов принимают не ниже 120–130 °С.

В работе рассмотрена ранее запатентованная полезная модель, с помощью которой можно повысить КПД путевого подогревателя [1]. Данный метод позволяет использовать отдельный U-образный теплообменник, где уходящие дымовые газы будут отдавать свое тепло потоку воздуха, поступающего в горелочное устройство, а также приведено сравнение с другими моделями подогревателей разных производителей для внедрения данных мероприятий на предприятиях ПАО «Татнефть».

Для снижения вязкости перекачиваемой водонефтяной эмульсии (жидкости), уменьшения порывов нефтепроводов на нефтепромысловых объектах, широкое распространение получили путевые подогреватели. Благодаря их применению возможно снизить давление в системе сбора в 2–2,5 раза, а также упростить процесс подготовки нефти [2].

Путевые подогреватели обеспечивают «мягкий» нагрев за счет наличия промежуточного теплоносителя и могут использоваться для нагрева нефтяной эмульсии, нефти, газа, газового конденсата, воды, теплоносителей на объектах добычи, транспортировки и первичной подготовки нефти.

Подогреватель выполнен в форме стального цилиндра с плоскими днищами, внутри корпуса нагревателя горизонтально крепится U-образная печь в виде двух термостойких труб, соединенных друг с другом одним концом. Концы этих труб выступают наружу за корпуса подогревателя, один из которых укомплектован горелочным устройством с запальником и полым металлическим конусом на конце, а другой снабжен дымоходом с фланцем. Внутри путевого подогревателя, также закреплен продуктовый змеевик из стальных труб. Снаружи на установке располагаются контролирующие приборы автоматики, топливная обвязка, трубопровод подвода и отвода водонефтяной эмульсии, лестница, площадка обслуживания, расширительный бачок [3].



Путевой подогреватель нефтепродуктов ПП-0,63

Наиболее подходящим вариантом, в рамках настоящего исследования, является подогреватель путевой типа ПП-0,63 (см. рисунок). Несмотря на это, даже у него есть недостаток. В нем не используется тепло уходящих дымовых газов для нагрева воздуха, который поступает в топку подогревателя.

Увеличение температуры воздуха, поступающего в топку подогревателя, способствует улучшению процесса горения, что приводит к повышению КПД системы сжигания в среднем на 1 %, при снижении температуры дымовых газов на 20 °С.

С организацией предварительного подогрева воздуха могут быть связаны и некоторые проблемные вопросы, которые могут оказаться препятствием для реализации данной схемы:

– газоздушный теплообменник, который необходим для подогрева воздуха, нуждается в значительном пространстве;

– из-за падения давления дымовых газов на теплообменнике, требуется установка вентилятора дымососа;

– горелочное устройство должно быть рассчитано на подачу большего объема подогретого воздуха горения. Помимо этого, использование нагретого воздуха может представлять проблему с точки зрения обеспечения стабильности пламени;

– увеличение температуры пламени может привести к увеличению объема выбросов  $\text{NO}_x$  [4, 5].

Рассмотренный метод повышения КПД системы сжигания, может быть экономически эффективным при строительстве новых путевых подогревателей.

### **Источники**

1. Мусин Р.С., Файзуллин Т.И., Вафин И.З. Подогреватель путевой: пат. № RU 184855 U1; заявл. 23.07.2018; опубл. 12.11.18, Бюл. № 32.

2. Мухаметова Л.Р., Ахметова И.Г., Михин А.А. Оценка экономической эффективности работы конденсационного утилизатора тепловой установки // Вестник КГЭУ. 2020. Т. 12. № 3 (47). С. 101-112.

3. Байбаков Н.К., Гарушев Л.Р. Тепловые методы разработки нефтяных месторождений. М: Недра, 1988. 343 с.

4. Некоммерческое партнерство по содействию внедрению энергоэффективных технологий «Энергоэффективный город» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.energsovet.ru/> (дата обращения 03.03.2022).

5. Зверева Э.Р., Плотникова В.П., Сафина Г.Г., Дударовская О.Г., Шагеев М.Ф., Зверев Л.О., Романов С.Р., Назаров А.И. Исследование механизма влияния многофункциональной присадки к котельному топливу // Вестник КГЭУ. 2021. Т. 13. № 2 (50). С. 89-99.

## ВИБРОАКУСТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Р.З. Шакурова<sup>1</sup>, С.О. Гапоненко<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>shakurova.rz@gmail.com, <sup>2</sup>sogaponenko@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. Кондратьев

В статье поднимаются вопросы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации трубопроводов различного назначения. Для оценки технического состояния труб разработан виброакустический способ, позволяющий выявлять дефекты и их расположение.

**Ключевые слова:** повреждение, трубопроводные сети, обработка сигнала, техническое состояние.

Одним из основных элементов энергетической системы являются трубопроводные сети, по которым энергоноситель доставляется до потребителя. Трубопроводные сети – это сложные технические объекты, которые требуют детальной проработки с точки зрения надежности и безопасности [1]. В настоящее время тепловые сети города имеют высокую наработку по времени, многие километры труб нуждаются в замене, при этом их загруженность возрастает: развивается жилищное строительство, в связи с этим растет и потребление тепловой и электрической энергии [2]. Для предотвращения аварийных ситуаций необходимо регулярно производить мониторинг технического состояния трубопроводов [3].

Разработан виброакустический способ оценки, применимый к трубопроводам любых материалов, и позволяющий оперативно и высокой точностью выявлять дефекты. На рисунке 1 изображена схема осуществления указанного способа.

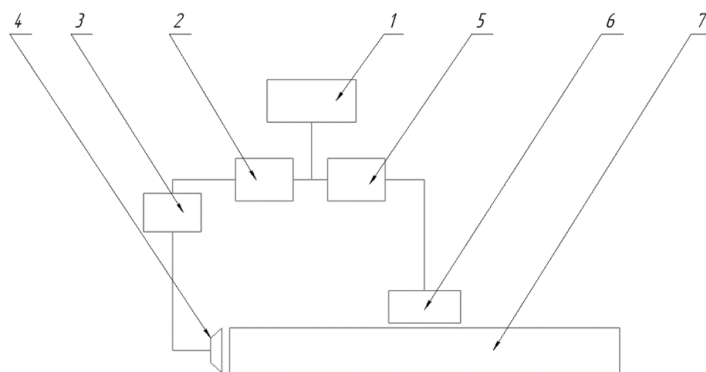


Рис. 1. Схема осуществления виброакустического способа для поиска повреждений в трубопроводных сетях: 1 – ПК; 2 – цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП); 3 – усилитель сигнала динамического излучателя; 4 – динамический излучатель; 5 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП); 6 – пьезоэлектрический преобразователь; 7 – труба

Способ осуществляется следующим образом [4]. Динамический излучатель 4 генерирует в полости исследуемого трубопровода 7 акустические колебания с резонансной частотой в интервале от 250 Гц до 15 кГц. Цифро-аналоговый преобразователь 2 преобразует выходной сигнал ПК 1, для усиления сигнала динамического излучателя применяется усилитель 3. Пьезоэлектрический датчик 6 перемещается вдоль исследуемой поверхности, через заданные интервалы производится измерение параметров колебаний. Измеренный сигнал от пьезоэлектрического преобразователя 6 через АЦП 5 поступает в ПК для дальнейшего анализа и обработки.

По полученным данным строится график распределения амплитуды колебаний трубопровода по линии измерения, далее по полученному графику строят полином. В зависимости от необходимо точности аппроксимации подбирается нужная степень полинома. В зависимости от чувствительности строится доверительный интервал. Для построения границ доверительного интервала производится вычисление дисперсии линии регрессии. Границы доверительного интервала переводят в вероятностную зависимость с помощью нормальной функции распределения вероятностей и порога обнаружения [5]. Критерием наличия дефекта является нарушение гладкости (выход значения амплитуды колебания в контролируемой точке за пределы доверительного интервала). Локализация дефекта и его размеры определяются местоположением и степенью нарушения гладкости функции.

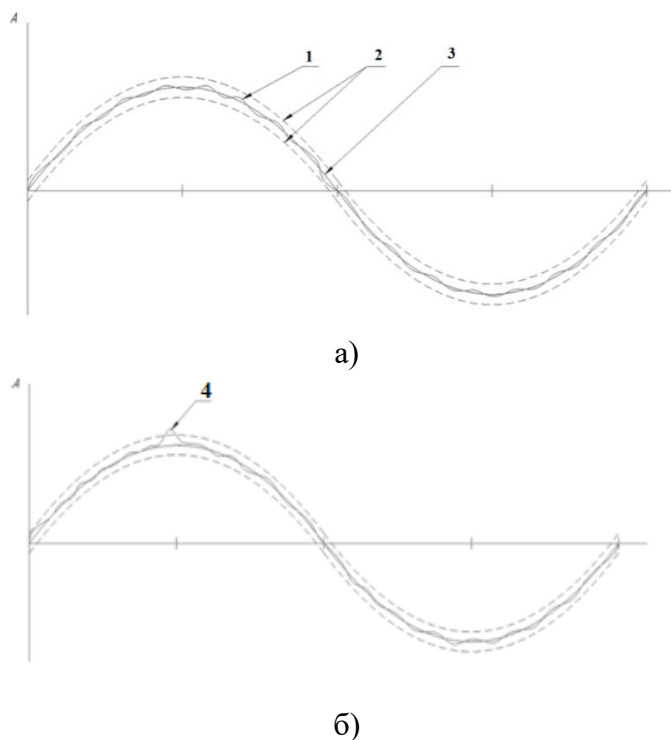


Рис. 2. Графики распределения амплитуды колебания по линии измерения при отсутствии дефектов (а) и при наличии дефекта (б) в стенке трубопровода: 1 – линия графика распределения амплитуды колебания по линии измерения; 2 – линии доверительного интервала; 3 – линия полинома; 4 – зона нарушения гладкости исходного сигнала

Производится анализ полученных результатов: в точках, где график амплитуд колебаний трубопровода выходит за пределы доверительного интервала, находится зона дефекта (точка 4 на рис. 2, б). Данное утверждение основано на том, что в месте расположения дефекта происходит изменение колебательной энергии. Определение размера дефекта основывается на степени выхода графика амплитуды колебания трубопровода за пределы доверительного интервала.

### Источники

1. Шакурова Р.З., Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е. К вопросу инерциального возбуждения диагностических низкочастотных вибрационных колебаний в трубопроводах ЖКХ // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Матер. 92-го заседания Межд. научного семинара им. Ю.Н. Руденко. 2020. С. 276-282.

2. Шакурова Р.З., Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е. Применение метода инерциального возбуждения низкочастотных диагностических колебаний для оценки технического состояния трубопроводов // Актуальные вопросы прикладной физики и энергетики: II межд. науч. конф. Сумгаит: Сумгаитский государственный университет, 2020. С. 417-422.



3. Шакурова Р.З. Апробация виброакустического способа оценки технического состояния теплоэнергетического оборудования // Научному прогрессу – творчество молодых. 2020. № 2. С. 75-77.

4. Патент № 2734724 С1 Российская Федерация, МПК G01N 29/00. Виброакустический способ оценки технического состояния проводящих инженерных коммуникаций: № 2020114188: заявл. 20.04.2020: опубл. 22.10.2020 / С.О. Гапоненко, А.Е. Кондратьев, Р.З. Шакурова; заявитель ФГБОУ ВО КГЭУ.

5. Чертищев В.Ю. Оценка вероятности обнаружения дефектов акустическими методами в зависимости от их размера в конструкциях из ПКМ для выходных данных контроля в виде бинарных величин // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 3(52). С. 65-79.

УДК 697.3

## ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРИ ПЕРЕНОСЕ ФУНКЦИЙ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ В ИТП

С.К. Шаповалов<sup>1</sup>, И.Н. Запольская<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Филиал АО «Татэнерго» - Казанские тепловые сети, г. Казань

<sup>1</sup>YDstanislav-shapovalov@yandex.ru, <sup>2</sup>zapolskayain@tatenergo.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков

В статье проведен анализ закрытых систем теплоснабжения городов, в которых был реализован перенос функций ГВС из центральных тепловых пунктов (ЦТП) в индивидуальные тепловые пункты (ИТП). Главной целью работы является оценка экономических аспектов при модернизации закрытых систем теплоснабжения путем перехода на горячее водоснабжение от ИТП и исключения ЦТП. Для достижения поставленной цели проанализирован опыт внедрения ИТП в более чем 800 многоквартирных домов г. Казань различной этажности и года постройки. В ходе исследования предложена методика для оценки экономического эффекта данного мероприятия и ее реализация в виде программного комплекса на базе MS OfficeExcel с применением языка программирования Visual Basic for Applications (VBA).

**Ключевые слова:** энергосбережение, энергетические системы, горячее водоснабжение, центральный тепловой пункт, индивидуальный тепловой пункт, центральный тепловой пункт.

На данный момент только половина городов РФ перешли на закрытую систему теплоснабжения. Доля «закрытых» систем ГВС очень низкая в Тверской, Ярославской, Ульяновской, Кемеровской, Иркутской областях, городе Санкт-Петербурге, Красноярском крае, Республиках Карелия, Марий Эл, Чувашская, Тыва, Хакассия, Бурятия [1]. Стоит отметить, что установка ИТП в многоквартирных домах составляют большую долю затрат (30-65%) от совокупной стоимости мероприятий по «закрытию» системы теплоснабжения.

В многих городах РФ реализованы или находятся на стадии разработки проекты устройству и реконструкции ИТП, а также их автоматизации [2, 3]. В 2004 г. первые шаги в программе по ликвидации ЦТП и переносу функций приготовления горячей воды в ИТП в Республике Татарстан были предприняты в Набережных Челнах, а уже в 2005 г. мероприятия этой программы были полностью завершены. Дальнейшие мероприятия НчТС, филиала АО «Татэнерго», были направлены на автоматизацию ИТП (АИТП). Опыт поэтапного внедрения АИТП в систему теплоснабжения квартала № 38-1 г. Казани показал значительное снижение расходов сетей воды на дом (в среднем на 42,1 %), тепловой нагрузки на отопление (на 33,5 %) [4, 5].

Научная новизна исследования заключается в том, что впервые был предложена методика для оценки экономического эффекта при переходе на горячее водоснабжения от ИТП, на основе которого был.

Оценка экономического эффекта от переноса функций ГВС в ИТП с последующей ликвидацией ЦТП проводится на основе данных по МКД, тепловым сетям, источникам теплоснабжения (ТЭЦ, котельные и т.п.), тарифам на энергоресурсы (тепловую и электрическую энергию, ее потери и теплоноситель). Необходимые исходные данные приведены на рисунке.



Исходные данные для расчета экономического эффекта от переноса функций ГВС в ИТП

Экономический эффект от перехода на горячее водоснабжения в ИТП складывается из эффекта для МКД ( $\mathcal{E}_{МКД}$ ), тепловыми сетями ( $\mathcal{E}_{ТС}$ ) и источниками теплоснабжения ( $\mathcal{E}_{ИТ}$ ):

$$\mathcal{E}_{ЭС} = \mathcal{E}_{МКД} + \mathcal{E}_{ТС} + \mathcal{E}_{ИТ} . \quad (1)$$

На основе вышеописанного алгоритма был разработан программный комплекс «Transition2ИТР» на базе MS OfficeExcel с применением языка программирования Visual Basic for Applications (VBA). Разработанный программный комплекс получил положительный результат проверки заявки на государственную регистрацию программы ЭВМ и был внесен в Реестр для ЭВМ, регистрационный № 2021680212 от 08.12.2021.

Программа позволяет на основании введенной первичной информации по системе теплоснабжения:

– рассчитать ожидаемое снижение потребления тепловой энергии на подогрев холодной воды для горячего водоснабжения многоквартирными домами города;

– рассчитать ожидаемое снижение тепловых потерь, потерь теплоносителя теплосетевой компанией;

- рассчитать ожидаемый экономический эффект для ТЭЦ при переходе на ИТП с ИВВП;
- оценить затраты, экономический эффект и срок окупаемости при переносе функций приготовления горячей воды к потребителю путем установки ИТП и ликвидацией ЦТП и сетей горячего водоснабжения;
- сформировать отчет по проведенным расчетам.

### **Источники**

1. Доклад «О состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2019 году». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/20641> (дата обращения 01.11.2021).
2. Повышение надежности транспортировки тепловой энергии до потребителей в условиях модернизации системы горячего водоснабжения / Ю.В. Ваньков, И.Н. Запольская, С.О. Гапоненко, Л.Р. Мухаметова // Вестник КГЭУ. 2020. Т. 12. № 4(48). С. 29-37.
3. Повышение эффективности систем ГВС установкой автоматизированных ИТП / И.Н. Запольская, Ю.В. Ваньков, Ш.Г. Зиганшин [и др.] // Вестник КГЭУ. 2017. № 4(36). С. 54-64.
4. Снижение тепловых потерь энергоснабжающей организации модернизацией систем горячего водоснабжения / Ю.В. Ваньков, И.Н. Запольская, Е.В. Измайлова [и др.] // Вестник КГЭУ. 2018. № 4(40). С. 13-24.
5. Снижение энергопотребления при переходе на горячее водоснабжение от индивидуальных тепловых пунктов / Ю. В. Ваньков, И. Н. Запольская, Е. В. Измайлова [и др.] // Вестник КГЭУ. 2019. Т. 11. № 1(41). С. 19-27.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛООВОГО НАСОСА В СИСТЕМЕ ВОЗДУШНОГО ОТОПЛЕНИЯ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ЦЕХА

А.В. Ястребов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

sanchosavach@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. Кондратьев

В данной работе рассматривается применение теплового насоса в системе воздушного отопления. Работа теплового насоса заключается в том, что для применения данной установки используется теплота вытяжного воздуха воздушного отопления из помещения для нагрева рабочего тела в теплонасосной установке. Приводятся преимущества и недостатки использования теплового насоса в системе воздушного отопления.

**Ключевые слова:** система воздушного отопления, тепловой насос, вторичный энергоресурс, энергоэффективность, энергосбережение.

В системах воздушного отопления используется в качестве теплоносителя воздух, нагретый до более высокой температуры, чем температура в помещении. Нагретый воздух распределяется по помещениям через сеть воздухопроводов или каналам, смешивается с внутренним воздухом и отдает то количество теплоты, что необходимо для компенсации теплопотерь здания [1].

Системы воздушного отопления, в основном, классифицируются по способу замены воздуха в помещении на:

– прямоточные системы, в которых наружный воздух подогревается в воздушно-отопительных агрегатах, подается в помещения и вытяжным воздухом выводится из помещений;

– рециркуляционные системы, где наружный воздух нагревается и поддерживает нормированные температуры в помещениях, то есть такие системы работают с перемещением одного и того же воздуха;

– системы с частичной рециркуляцией, которые используют в определенных пропорциях наружный и внутренний воздух.

Системы прямоточные и с частичной рециркуляцией обеспечивают дополнительной необходимой воздухообмен, поэтому эти называют совмещенные с приточной вентиляцией, однако данные системы энергозатратны, поскольку необходимо наружный воздух нагревать до определенной высокой температуры для подачи в помещения [2].

Основным вредным веществом при металлообработке является выброс оксида железа, то с учетом данного условия при проектировании системы воздушного отопления металлообрабатывающего цеха необходимо применять прямоточные системы либо системы с частичной рециркуляции, чтобы обеспечить нормируемые параметры микроклимата в помещениях цеха [3].

В связи с тем, что в таких системах внутренний воздух приточными устройствами выбрасывается из помещения, при этом вытяжной воздух считается вторичным энергоресурсом, то есть имеет температуру внутреннего воздуха, следовательно, температуру вытяжного воздуха можно использовать для нагрева рабочего тела в установке теплового насоса с целью повышения энергоэффективности и энергосбережения системы воздушного отопления металлообрабатывающего цеха.

Тепловой насос представляет собой термодинамическую установку, в которой теплота, полученная за счет подвода внешней энергии или затраченной работы, передается от низкопотенциального источника потребителю при более высокой температуре.

Часто тепловой насос состоит из компрессора, сжимающего хладагент, конденсатора для передачи теплоты от сжатого хладагента с высокой температурой высокопотенциальному теплоносителю, дроссельного вентиля, служащего для расширения хладагента, и испарителя, где происходит кипение хладагента за счет теплоты от низкопотенциального теплоносителя. При этом для сжатия хладагента в компрессоре требуется энергия, поэтому теплота, которая отводится горячему теплоносителю, должна быть выше, чем затраченная энергия для сжатия [4].

В данном случае применение теплового насоса в системе воздушного отопления металлообрабатывающего цеха дает возможность утилизировать теплоту вытяжного воздуха из помещений цеха, то есть использовать всю теплоту вытяжного воздуха для нагрева приточного воздуха перед подачей его в воздушно-отопительные агрегаты, тем самым сокращается расход природного топлива на теплоснабжение или других видов источников энергии. Также тепловой насос может выполнять функции обратного охлаждения теплоносителя, подаваемого в технологические аппараты, в неотопительный период. Однако возникают недостатки от теплового насоса такие, как эксплуатационные затраты на привод компрессора возрастают, при использовании вытяжного воздуха на нагрев приточного наружного воздуха может образоваться конденсат, что при низких температурах может вызвать обледенение поверхностей испарителя [5].

## Источники

1. Сухов В.В. Инженерные сети: учеб. пособие; под ред. В.В. Сухова. Н.Новгород: ННГАСУ, 2019. 179 с.
2. Круглов Г.А., Булгакова Р.И., Круглова Е.С. Теплотехника: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2020. 208 с.
3. ГОСТ 32602-2014 Правила расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при механической обработке металлов на основе удельных показателей. М.: Стандартинформ, 2014.
4. Гатауллина И.М. Построение системы теплоснабжения на основе теплового насоса // Тинчуринские чтения: тез. докл. XIII молод. науч. конф. В 3-х т. Казань, 2018. Т. 2. С. 160-162.
5. Гатауллина И.М. Использование тепловых насосов в системах теплоснабжения зданий // Научному прогрессу – творчество молодых. 2018. № 2. С. 71-74.

УДК 697.38

## ОСБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОГО ОТОПЛЕНИЯ

А.В. Ястребов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

sanchosavach@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. Кондратьев

В данной работе рассматривается применение теплообменных аппаратов в системах воздушного отопления, приводится их классификация, преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** система воздушного отопления, воздухонагреватель.

Воздушное отопление представляет собой систему отопления, где в качестве теплоносителя используется воздух. Воздух нагревается до более высокой температуры, чем температура внутреннего воздуха в помещении, подается в отапливаемое помещение, смешиваясь с внутренним воздухом, компенсирует теплопотери помещения. Системы воздушного отопления классифицируют по виду первичного теплоносителя, нагревающего воздух на паровоздушные, водовоздушные, газовоздушные и др.; по способу перемещения воздуха на естественные и искусственные, осуществляемые с помощью вентилятора; по способу подготовки нагретого воздуха на централизованные и местные; по способу подачи воздуха на прямооточные рециркуляционные и с частичной рециркуляцией [1].

Воздушное отопление применяется в жилых, общественных и производственных зданиях. Однако данная система отопления особенно эффективна в помещениях с большими объемами [2].

Основная проблема использования данного вида отопления заключается в том, что необходимо подогреть воздух до необходимой температуры перед подачей его в помещение. Поэтому в зависимости от способов решения данной проблемы в системах воздушного отопления применяются различные виды воздушно-отопительные агрегаты. В данной работе рассмотрим рекуперативные и смесительные воздухонагреватели [3].

В рекуперативных воздухонагревателях топливо сжигается в камере сгорания, образовавшиеся продукты сгорания проходят через теплообменник, через нагретые стенки которого тепло передается нагреваемому воздуху. Данные воздухонагреватели могут применяться не только для отопления, но и в системах вентиляции. Подача нагретого воздуха в отапливаемое помещение осуществляется с помощью встроенного или выносного вентилятора через жалюзийные воздухораспределительные решетки или по системе воздуховодов.

Современные рекуперативные воздухонагреватели изготавливаются из нержавеющей жаропрочной стали, срок службы которых составляет от 5 до 25 лет, с коэффициентом полезного действия до 90–96 % и тепловой мощностью от 3 кВт до 2 МВт. Основное их преимущество в универсальности, то есть применяются различные виды топлива. В неотопительный период могут работать в режиме вентиляции. В случае монтажа данные теплообменники могут быть установлены вертикальным, горизонтальным положением, а также на полу и стене или встроены в секционные вентиляционные камеры в качестве секции нагревателя.

Недостатки рекуперативных воздухонагревателей в том, что более мощные теплообменники увеличивают стоимость и вес системы, необходимо предусматривать дымовую трубу и отвод конденсата [4].

В смесительных воздухонагревателях подаваемый на горение природный газ сжигается в потоке нагреваемого воздуха, при этом смешиваясь с воздухом, отдает ему тепло. Технология сжигания топлива и высокая степень разбавления продуктов сгорания с воздухом позволяют получить в установках чистый нагретый воздух в соответствии с требуемыми нормами качества внутреннего воздуха. Чаще всего такие воздухонагреватели применяются типа STV с тепловой мощностью от 150 кВт до 21 МВт, которые состоят из модульного горелочного блока, расположенного внутри корпуса, газовой линии и системы автоматики.



Преимущества смесительных воздухонагревателей: простота, надежность, низкая себестоимость, экономичность, возможность нагрева до высокой температуры, высокая степень автоматизации и плавного регулирования, а также высокие показатели коэффициента полезного действия за счет прямого нагрева воздуха. Недостатки смесительных воздухонагревателей в том, что природный газ должен соответствовать необходимому составу и показателям вредных веществ после сжигания, а также применяются только для газообразного топлива [5].

Таким образом, рассмотрели воздушно-отопительные агрегаты для системы воздушного отопления, их принцип работы, преимущества и недостатки.

### **Источники**

1. Сухов В.В. Инженерные сети: учеб. пособие; под ред. В.В. Сухова. Н.Новгород: ННГАСУ, 2019. 179 с.
2. Шумилов Р.Н., Толстова Ю.И., Бояршинова А.Н. Проектирование систем вентиляции и отопления: учеб. пособие; 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Лань, 2021. 336 с.
3. Круглов Г.А., Булгакова Р.И., Круглова Е.С. Теплотехника: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2020. 208 с.
4. Широков Ю.А. Производственная санитария и гигиена труда: учебник для вузов. СПб.: Лань, 2020. 564 с.
5. Казаков Ю.Н., Захаров В.П. Современное малоэтажное домостроение: монография; 3-е изд., стер. СПб.: Лань, 2022. 272 с.

### Секция 3. ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 620.91

#### ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ РОССИИ

К.А. Абдреев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

abdreev.kirill@mail.ru

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Н.И. Москаленко

В статье рассмотрены масштабы использования геотермальных источников в России, их потенциал, запасы, регионы с перспективой развития данного вида энергетики, достоинства и недостатки, основные залежи источников геотермальной энергии.

**Ключевые слова:** геотермальные источники, геотермальные станции (ГС).

Геотермальные источники электроэнергии представляют собой энергию тепла недр земли, которая используется в виде горячей воды и пара с температурой 50–200 °С и запасённую на глубине от 200 до 3000 м (иногда до 5,5 км). Она используется не только как источник электроэнергии, но в первую очередь как источник горячей воды [1].

Недостатками геотермальной энергетики являются:

- сравнительная сложность доступа к источникам энергии;
- опасность нахождения вблизи сейсмически активных районов;
- долгий период окупаемости;
- географическая ограниченность использования.

К достоинствам ГС можно отнести:

- значительные запасы геотермальной энергии, которая при правильном регулировании может считаться возобновляемой;
- экологическая безопасность (отсутствие вредных выбросов);
- самодостаточность ГС;
- отсутствие использования традиционного топлива.

На момент 2019-го года установленная мощность электростанций России насчитывала 275,8 млн кВт, а установленная мощность геотермальных систем по разным источникам от 74 до 81,4 МВт. Это составляет примерно 0,028 % от общей установленной мощности всех электростанций страны [2–4].



Распределение геотермальных ресурсов России

Однако запасы геотермальной энергии очень велики (см. рисунок). В южной части России наиболее перспективными в этой области являются Кавказ и Краснодарский край. На Кавказе имеется более 170 скважин глубиной до 5500 м. Потенциал ГС в этом районе эквивалентен 600 тысячам тонн условного топлива в год или около 560 МВт энергии. Общая мощность таких источников тепла используемых в Краснодарском крае равна 238 МВт. Камчатка не только обладает огромным потенциалом использования геотермальной энергии, но и отличается лёгкостью её добычи – это характеризуется глубиной скважин, до 1800 м. Изученные источники Камчатки и Курильских островов оцениваются в среднем от 1330 до 1400 МВт. В Сибири в процессе бурения нефтегазовых скважин был обнаружен Западно-Сибирский артезианский бассейн, чей потенциал энергии оценивается по одним данным в 200, а по другим – в 834 млн Гкал/год, это примерно 26,5–110,7 ГВт энергии и с глубиной залежи до 1 км. Также запасы имеются в центральной части России в центральной части средне-русского бассейна (Московская синеклиза (разрез)) с температурой 30–100 °С и глубиной залежи от 1 до 2 км [1–5].

Россия обладает не только большим потенциалом использования геотермальных источников, но и их запасами. Несмотря на значительные запасы нефти и газа, запасы геотермальной энергии, превышают размеры запасов органического топлива 8–15 раз [1].

## Источники

1. Геотермальная энергетика и ресурсы России: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://beelead.com/geotermalnaya-energetika-resursy/> (дата обращения 09.03.2022).
2. Геотермия Краснодарского края: ресурсы, опыт использования, перспективы // С.О.К. archive. 2019. №4.
3. Электроэнергетический комплекс России // EES EAEC. Мировая энергетика. Декабрь 2020, январь 2021.
4. Геотермальная энергетика способы получения, принцип работы, ГеоТЭС в России и мире: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://istochnikienergii.ru/drugie/geotermalnaya-energetika/> (дата обращения 09.03.2022).
5. Тепло недр ждет инвестора: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.eprussia.ru/teploenergetika/36/8938411.htm/> (дата обращения 09.03.2022).

УДК 620.9

## МАЛЫЕ АВТОНОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

А.А. Абдуллин<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>МБОУ «Школа №34», г. Казань

<sup>1</sup>artur.abdullin.2002@bk.ru, <sup>2</sup>maslovastar@rambler.ru

Науч. рук. преп. высш. кат. Г.Д. Маслова<sup>2</sup>

В статье приводятся сведения о некоторых типах малых автономных электростанций, где они используются в мире, об инновационной идее солнечных батарей от компании «Neutrinovoltaic».

**Ключевые слова:** малая автономная электростанция, малая энергетика, солнечные батареи Neutrino Power Cube, гибридные малые электростанции, ДЭС, ВДЭС.

Малая электростанция – автономная, независимая система энергоснабжения. К ней относятся как простые бензиновые и дизельные генераторы, солнечные батареи, так и небольшие АЭС, ТЭС и др. [1].

Автономные электростанции подразделяются на следующие группы:

- газотурбинные;
- газодизельные;
- поршневые;

- парогазовые;
- ветряные;
- геотермальные;
- МГЭС – малые гидроэлектростанции;
- солнечные батареи (электростанции).

При высокой мощности и постоянной эксплуатации автономных электростанций в качестве основных рекомендуется применять турбинные силовые агрегаты. Такие агрегаты хорошо адаптированы к любым нагрузкам, имеют более длительный ресурс, низкий уровень шума и выделяют меньше вредных примесей.

Мощность таких электростанции устанавливается суммой мощности потребителей данной электроэнергии, которые будут включаться одновременно. Чтобы автономные, малые электростанции работали в безопасном режиме, советуют, чтобы их мощность была больше на треть в сравнении с суммарной электрической мощности всех потребителей.

Малые АЭС: в будущем, возможно, предпочтения будут отдаваться малым АЭС, так как в удалённых и труднодоступных местах, например, в условиях Северных регионов, куда сложно и дорого обеспечить доставку топлива, они будут более эффективными. Российская энергетика предполагает строительство плавучих АЭС, то есть будут использоваться морские технологии для решения таких задач, а у России в этом деле есть большой опыт [2]. Но, к сожалению, такие проекты требуют постоянных инвестиций для поддержания должной работоспособности.

Батареи с солнечным компонентом и «зелёная энергетика»: в нынешнее время ветряные электростанции, мини-ГЭС, солнечные батареи и геотермальные электростанции имеют довольно высокую стоимость строительства 1 кВт мощности и поэтому в нашей стране они не особо распространены. Солнечные батареи в большом количестве не используются [3].

Но учёные и изобретатели из Германии смогли с помощью кремния и сверхплотного материала графена создать слой, который улавливает невидимый для нас спектр излучения, нейтрино и этот слой взаимодействует с потоком частиц нейтрино.

Впоследствии, они смогли создать солнечную батарею Neutrino Power Cube [4–6], которая производит в разы больше электроэнергии, чем вырабатывается у обычной, но испытания таких батарей всё ещё ведутся. КПД такой установки должен доходить до 70–80 %, это в разы больше обычной солнечной батареи (15–30 %). Также к плюсам можно отнести, что такие солнечные батареи могут работать ночью, так как наше светило генерирует и выбрасывает в космическое пространство нейтрино в виде излучения постоянно, пока внутри него идёт термоядерный синтез.

Электростанции с дизельным приводом (ДЭС): это основа электроснабжения в дальних северных районах России. В таких регионах работает примерно 47 тыс. малых дизельных электростанций. Выглядят они, как большие дизельные генераторы с разъёмами для подключения их в сеть переменного напряжения.

Известно, у большинства ДЭС малый КПД до 40 % и небольшой ресурс службы, повышенные расходы (250–300 г/кВт·ч), довольно большая стоимость топлива (во много раз дороже газа). У ДЭС самые наибольшие значения выделения вредных примесей, а стоимость, генерируемой ими электроэнергии, примерно 6–7 руб./кВт·ч.

Гидроэнергетика с малой мощностью (МГЭС): чаще к малым гидроэлектростанциям относят гидроэнергетические установки, установленная мощность которых не превышает 5 МВт. Мировой потенциал гидроэнергетики в экономическом плане равен 8100 млрд. кВт·ч. Мировой процент малых и микро-ГЭС составляет около 10 % от общего экономического гидропотенциала мира. Мировым лидером в данном направлении был и остается Китай. Установленная мощность МГЭС в этой стране немного превышает 20 тыс. МВт. Довольно перспективное направление, потому что в странах, где много рек, можно построить множество таких малых ГЭС и объединить их в одну общую энергосистему.

Самыми перспективными в будущем для северных районов являются комбинированные или же гибридные электростанции: ветродизельные (ВДЭС). Они смогут сократить потребление топлива на 35–50 % и повышают работоспособность дизельгенераторов в 2 раза. Гибридные уменьшают потребление жидкого топлива в 3–7 раз, и их срок окупаемости составляет примерно 3 года.

### **Источники**

1. Возобновляемая энергия в России. От возможности к реальности. О ОЭСР/МЭА, 2004. 120 с.
2. Затопляев Б.С., Редько И.Я. Место малой энергетики в энергетическом балансе России // Малая энергетика. 2004. №1. С. 4-11.
3. Асеев А.Л. Солнечная энергетика: состояние и перспективы развития // Солнечная энергетика. 2005. № 2. С. 10-15.
4. Информационный проект «EnergyScience.ru – Альтернативная энергия». Альтернативные источники энергии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://energyscience.ru/topic373.html>. (дата обращения 20.10.2020).
5. Романов А.Д. Эффективность малой энергетики. Минск: Бестпринт, 2010.

6. 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 сб.: Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: матер. IV Всерос. нац. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х ч. 2021. С. 172-175.

УДК 621.577

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ НА ТЭС

Р.А. Абрамов, И.В. Зозуля, Р.Р. Сафиуллин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
rus.lindemann17@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.В. Титов

На ТЭС имеется большое количество источников низкопотенциальной теплоты (ИНТ), которой можно преобразовать в высокотемпературную теплоту для повышения эффективности станции. Тепловой насос является оптимальным решением в данном вопросе. В данной статье предложена схема применения теплонасосной установки (ТНУ) на ТЭС, а также рассмотрен принцип действия теплового насоса.

**Ключевые слова:** тепловой насос, хладагент, низкопотенциальная теплота, термодинамический анализ, ТЭС.

Тепловой насос – это термодинамическое устройство, позволяющее за счет низкопотенциальной энергии вырабатывать тепло с более высокой температурой [1]. Главной особенностью теплового насоса является то, что, затрачивая 1 кВт электрической энергии на привод компрессора, можно получить примерно 5 кВт тепловой энергии. Этим обуславливается его экономичность.

Цикл работы теплового насоса (рис. 1) начинается с испарителя, где рабочее тело – хладагент, поглощая низкопотенциальную энергию из окружающей среды, кипит при изобарно-изотермическом процессе, так как имеет низкую температуру кипения. Далее газ изоэнтропно сжимается в компрессоре, где повышается его давление и температура. При этом на привод компрессора затрачивается электрическая энергия. Нагретый газ поступает в конденсатор. Здесь хладагент, изобарно-изотермически конденсируясь, передает энергию, полученную из ИНТ, к потребителю высокотемпературной теплоты. Полученная тепловая энергия больше, чем электрическая, затрачиваемая на компрессор. После процесса конденсации происходит изоэнтальпийное расширение в расширительном клапане. Далее хладагент снова поступает в испаритель. Цикл повторяется.

Данный принцип действия теплового насоса можно использовать на станции. Предложенная схема применения ТНУ на ТЭС представлена на рис. 2.

Пар с высоким давлением и температурой, выработанный в паровом котле, поступает в паровую турбину 1. В процессе расширения движущийся пар приводит во вращение ротор турбины и статор электрогенератора 2. Отработавший пар с пониженными параметрами давления и температуры из турбины поступает в конденсатор 3. Здесь отработавший пар выступает в качестве ИНТ. Хладагент, циркулирующий в трубопроводах теплового насоса, отбирает низкопотенциальную теплоту пара из конденсатора, благодаря чему пар конденсируется. Конденсат с помощью конденсатного насоса 4 поступает в подогреватель конденсата 6. Тем временем компрессор теплового насоса 5 сжимает хладагент, тем самым повышая его температуру и давление. Далее нагретый хладагент по трубопроводам ТНУ поступает в подогреватель конденсата, после чего начинает передавать своё тепло конденсату. Здесь конденсат является потребителем высокотемпературной теплоты. Нагретый хладагентом конденсат поступает в деаэрактор, а остывший хладагент с помощью циркуляционного насоса 7 поступает обратно в конденсатор. Цикл повторяется снова [2].

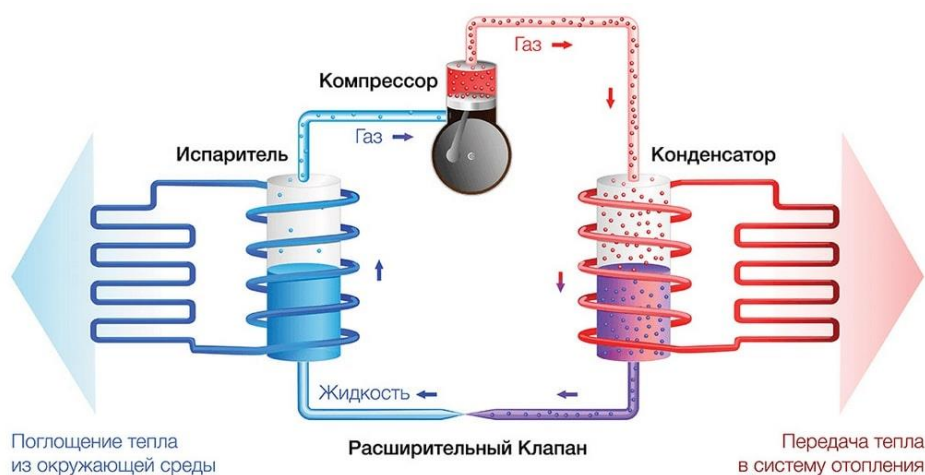


Рис. 1. Схема работы теплового насоса



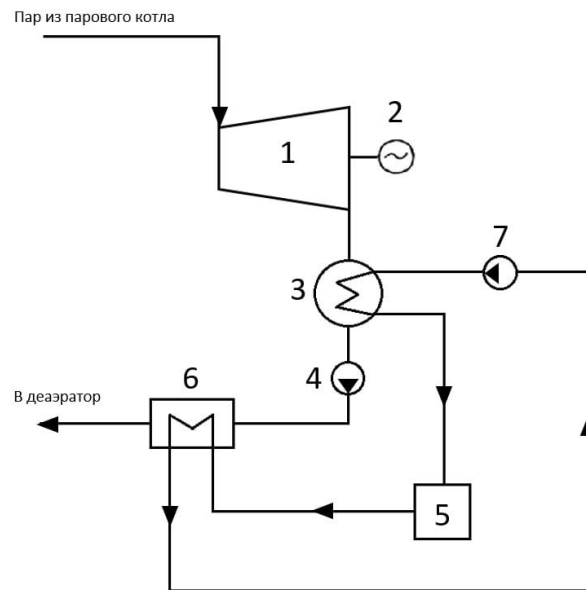


Рис. 2. Схема применения ТНУ на ТЭС: 1 – паровая турбина; 2 – электрогенератор; 3 – конденсатор; 4 – конденсатный насос; 5 – компрессор теплового насоса; 6 – подогреватель конденсата; 7 – циркуляционный насос

Термодинамический анализ показывает, что можно значительно увеличить КПД паровой турбины путем повышения разности параметров пара на входе и выходе турбины. Данная схема позволяет понизить конечные параметры отработавшего пара с помощью отбора низкопотенциальной теплоты из конденсатора тепловым насосом, тем самым повысив эффективность станции. Так, ТНУ полноценно может заменить башенную градирню, что значительно снижает капитальные затраты. И более того, данная схема позволяет отказаться от промышленного отбора, благодаря чему увеличится мощность турбины. В качестве недостатка здесь выступает электрическая энергия, потребляемая приводом компрессора ТНУ, поэтому требуется проведение расчетов до и после модернизации схемы с применением математических методов моделирования, как, например, при модернизации ГТУ [3].

Тепловые насосы являются перспективным направлением технологий. На данный момент тепловые насосы – это стремительно развивающийся сегмент рынка в развитых странах. Для внедрения данной технологии на энергетические предприятия в России есть все предпосылки: квалифицированные инженерные и научные сотрудники, большое количество исследовательских и конструкторских работ по данной теме, достаточный опыт в эксплуатации тепловых насосов. Как показывает зарубежный опыт, для развития энергосберегающих технологий необходимы государственные субсидирования.

Таким образом, внедрение ТНУ на ТЭС позволяет повысить эффективность и мощность турбины, а также отказаться от промышленного отбора и башенных градирен, что позволяет сэкономить капитальные затраты. Тепловые насосы являются перспективным направлением в России и за рубежом, однако на их развитие потребуется активное участие государства.

### **Источники**

1. Тухватулина, Д.Р., Титов А.В. Перспективы применения теплонасосных установок в условиях российского климата // Аллея науки. 2017. Т. 3. № 16. С. 886-889.

2. Тухватулина Д.Р., Титов А.В. Проблемы эффективного использования пара от ТЭЦ на промышленных предприятиях // Аллея науки. 2017. Т. 3. № 16. С. 894-897.

3. Титов А.В., Осипов Б.М. Инструментальная среда для исследования газотурбинных установок на математических моделях // Вестник КГЭУ. 2017. №4 (36). С. 17-21.

УДК 620.95

## **БИОЭНЕРГЕТИКА, ПОЛУЧЕНИЕ ЭНЕРГИИ ИЗ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ**

Ю.Г. Абрамова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

yulechka.abramova.2002@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Н. Маслов

В статье предложены методы получения энергии, подробное описание получения энергии экологичным способом. Рассмотрена проблема переработки биоресурсов и перспектива использования биотоплива.

**Ключевые слова:** окислитель, фотосинтез, электроны, электроды, цианобактерии.

С древних времен люди использовали биомассу в качестве источника энергии. В те времена тепловую энергию получали благодаря сбору древесины, соломы, торфа. Значительно позже стали использовать различные виды топлива, но ископаемые запасы могли исчерпаться, поэтому перед энергетиками возник вопрос использования более экономичного, безвредного и возобновляемого источника энергии.

Альтернативой стал биологический вариант. В первую очередь это доступно, экологично (снижение уровня загрязнения окружающей среды) и экономично (полученная энергия имеет низкую себестоимость). Биотопливо снижает выбросы парниковых газов. Для получения тепла и электричества необходимы возобновляемые и экологически безвредные источники энергии, снижение себестоимости установок. На сегодняшний день биоэнергетика находится на стадии активного развития. Сельскохозяйственные и крупно промышленные предприятия переходят на биотопливо.

Одним из методов получения энергии является термическая обработка органического мусора окислителем, после которой получают минеральный продукт и газ. Полученный газ накапливается для использования его в вырабатываемой тепловой энергии [1].

Ученые не прекращают нас удивлять. Они стали изучать живые растения для возможности получения электричества. Это направление позволит снабдить электроэнергией регионы с невысоким уровнем экономики.

Фирма Plant-e из Нидерландов применяет растения для выработки энергии. Растения на возобновляемой основе снабжают нас пищей, волокном, топливом и химическими продуктами. Голландцы воспользовались одним из продуктов реакции фотосинтеза. Эксперты выращивали рассаду в особо подготовленных местах. Там растения оживленно росли и производили сахаристые соединения из-за фотосинтеза. Количество сахара, вырабатываемых растениями, превышает его потребность, а излишки сахара возвращаются в почву. После этого наступает реакция кислорода в атмосфере, в процессе реакции выделяются свободные электроны. Электроды в земле скапливают свободные электроны, преобразуя их в электрический ток, а количество вырабатываемой при этом энергии хватит на обеспечение электроприборов, употребляющих незначительную мощность.

На Японских островках состоится изучение по преобразованию солнечной энергии в электрическую посредством цианобактерий. Цианобактерии растили в благоприятной среде. Затем их наносили нетолстым слоем на прозрачный оксидно-цинковый электрод, окунали в буферный раствор вместе с противoeлектродом. При попадании света на бактерии в цепи возникал электрический ток [2].

На сегодняшний день в Российской Федерации реализуется план по производству биотоплива из рапсового масла в качестве моторного топлива. Площади под выращивание высокоэнергетических культур, способности перерабатывающих компаний не загружены, вследствие этого в Российской Федерации есть возможность действительно применить потенциал земли. Для реализации понадобится лишь муниципальная помощь стимулирования изготовления высокоэнергетических культур, разработки и улучшения технологий и машин по добыче и переработке биоресурсов [3].

Благодаря новым открытиям биотопливо будут получать из сельскохозяйственных культур и растений, выращенных специально для топлива, а утилизация органического мусора будет использоваться с пользой для человечества.

### **Источники**

1. Энергия из отходов: утилизация мусора с пользой для планеты [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rcycle.net/pererabotka/energiya-iz-othodov-utilizatsiya-musora-s-polzoi-dlya-planety> (дата обращения 12.02.22).

2. Электричество из живых растений: зеленые электростанции [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/217174471> (дата обращения 10.02.22).

3. Биоэнергетика: мировой опыт и прогноз развития [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://biotoprk.ru/files/news/bioenergetica\\_moskva\\_2007.pdf](http://biotoprk.ru/files/news/bioenergetica_moskva_2007.pdf) (дата обращения 18.02.22).

## НАКОПИТЕЛИ ЭНЕРГИИ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Ф.В. Алексеев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

lo117031981@bk.ru

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Н.И. Москаленко

В статье выявлены проблемы, которые можно эффективно решить с помощью накопителей электрической энергии. Проведен анализ принципа действий и особенностей каждого из видов накопителей энергии, произведено соответствие вида накопителя решаемой проблеме, что обеспечивает максимальный эффект от её решения.

**Ключевые слова:** накопители энергии, маховиковые накопители, суперконденсаторы, сверхпроводниковые накопители.

Накопители энергии – это системы, накапливающие энергию в различных формах. Они подразделяются на следующие основные виды : механические, тепловые, электрические, химические и др.

Накопители имеют высокое значение в электроснабжении изолированных электрических систем, занимающих большую часть территории России. Актуальность заключается в выборе типа накопителя энергии, который позволяет добиться максимальной пользы от использования.

Реализация цели основана на нахождении решения задач. К ним относятся: анализ устройств хранения, выявление преимуществ и недостатков, а также характеристик каждого типа и описание принципа работы; соотношение вида накопителя решаемой проблеме.

Использование накопителей помогает эффективно решать большое количество проблем. Например, низкая надёжность электрического снабжения, провалы и выбросы напряжения.

К основным видам накопителей энергии относят: аккумуляторные батареи, сверхпроводниковые накопители (СПИН), маховиковые накопители и суперконденсаторы. Проанализируем каждый из этих накопителей.

Аккумуляторные батареи – это аккумуляторы в количестве двух или более штук, которые соединены между собой. Они используются в качестве источника электрической энергии. Во время заряда этих батарей электрическая энергия электрохимическим путём превращается в химическую.

Преимущества аккумуляторных батарей: надёжность; долговечность; низкая себестоимость производства; возможность многократной переработки.

Недостатки: длительный процесс зарядки; низкая производительность при низких температурах; негативное воздействие на окружающую среду при утилизации; низкая эффективность по сравнению с другими видами накопления энергии (60–70 %) [1].

Сверхпроводниковые накопители (СПИН) – накапливают электрическую энергию в магнитном поле индукционной катушки сверхпроводника, которое формируется протеканием постоянного тока. Сверхпроводниковые накопители могут выдерживать около тысячи циклов зарядки и разрядки без каких-либо последствий для них.

Преимущества СПИН: высокая эффективность преобразования (более 95 %); способность выделять энергию практически мгновенно; высокая надёжность; неограниченное время хранения энергии.

Недостатки: большая стоимость оборудования, вероятный риск выброса гелия в окружающую среду в случае аварии и потери сверхпроводимости [2].

Маховиковые накопители – накапливают кинетическую энергию во время ускорения ротора, чтобы впоследствии передавать ее в виде электричества. Вертикальный генераторный двигатель используется в качестве средства отбора электроэнергии.

Преимущества маховиков: высокий КПД; экологичность; длительный срок службы; высокий показатель надёжности и эффективности.

Недостатки: гироскопический эффект, из-за большого углового момента вращающегося маховика и избежание изменения направления оси вращения маховика [4].

Суперконденсаторы – это усовершенствованные конденсаторы, которые работают при постоянном напряжении и обладают большой плотностью заряда из-за выбора конструкции и обработке материала электрода. Ёмкость суперконденсаторов может составлять порядка нескольких фарад. Они создают накопление электричества электростатическим способом и при этом поляризуют раствор электролита.

Преимущества: малая токсичность материалов; КПД больше 90 %; долгий срок эксплуатации; большая скорость заряда и разряда; Широкий диапазон рабочих температур.

Недостатки: постепенная потеря напряжения; высокая скорость саморазряда суперконденсатора [3].

Проанализировав достоинства и недостатки основных накопителей энергии, их структуру, приходим к тому, что требуется найти для каждого из накопителей наилучшую область применения. Недорогие и высоконадежные аккумуляторы следует использовать для обеспечения питания потребителей без перебоев, а также для повышения надёжности электроснабжения. Сверхпроводниковые накопители, из-за отсутствия в них превращения одного вида энергии в другую, желательно использовать для управления графиком выдачи мощности. Это поможет увеличить экономичность функционирования энергосистемы. Благодаря высокому КПД и высокой скорости заряда и разряда, суперконденсаторы необходимо использовать применять для поддержания частоты в энергосистемах при коротких замыканиях, а также для ликвидации выбросов напряжения.

Главное назначение накопителей электрической энергии – сформировать новую энергетическую инфраструктуру, которая будет свободна от частичных запретов непрерывности одного вида электрических процессов.

### **Источники**

1. Бахтеев К.Р. Повышение эффективности функционирования систем централизованного и автономного электроснабжения путём комплексного применения электрохимических накопителей энергии: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. Казань, 2019. 190 с.

2. Ефремов Д.Г. Исследование возможности и разработка способов применения накопителей энергии различного типа для противоаварийного управления при больших возмущениях в энергосистеме: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02 М., 2018. 146 с.

3. Смотров Н.Н. Сглаживание провалов и выбросов напряжения в системах оперативного тока электрических станций и подстанций с помощью ионистров: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02. М., 2019. 125 с.

4. Соколов М.А. Сравнительный анализ систем запасаения энергии и определение оптимальных областей применения современных супермаховиков // Научно – технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. №4. С. 149-155.

## ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

В.В. Афанасьева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

afanasevavalentina384@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Н. Маслов

В данной статье рассмотрен водород в качестве газа, для использования в автомобильном транспорте, ознакомимся с его преимуществами и недостатками.

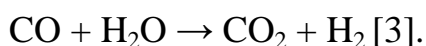
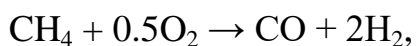
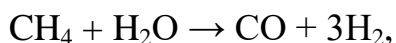
**Ключевые слова:** водородное топливо, энергетика, газы.

Говоря о применении водорода ( $H_2$ ) в качестве топлива для автомобильного транспорта, следует обратить внимание на обстоятельства, связанные с тем, что вопросы рыночных отношений являются преобладающим аспектом развития экономики любой страны в целом.

РФ не является ведущими в мировом автопроме, по официальным данным с 2000 г. мы можем видеть, что Россия занимает 10 место, где лидерами являются Китай, США, Япония.

В силу этих обстоятельств российские предприятия не в состоянии полностью посвятить свои ресурсы на создании автомобилей, работающих на водородном топливе. Водородные технологии во всем мире переступили рубеж НИОКР и в настоящее время находятся на стадии внедрения по всему миру. Но данная операция относится в большей степени к экономическо-административной сфере деятельности, чем к разработке научно-технической продукции [1, 2].

Рассмотрим химические реакции получения водорода. Главные способы производства из природного газа являются каталитическое взаимодействие углеводородов, в основном метана, с водяным паром (данное явление имеет термин конверсия):



Получение водорода электролизом воды в настоящее время – процесс дорогой, но в данном направлении ведутся постоянные исследования. Например, процесс разложения воды, может быть ускорен за счет исключительных каталитических свойств углеродных нанотрубок.



Кроме того, следует учитывать способ получения электроэнергии, необходимой для электролиза воды. Если электроэнергия вырабатывается на электростанциях, использующих в качестве топлива природный газ или уголь, то экология страдает в большей степени, что естественно нанесет ущерб и самому предприятию и окружающей среде. В данном случае для получения водорода лучше использовать ВИЭ, т.е. энергию ветра, солнца и т.д. [3, 4].

Преимущества использования данного элемента:

- достаточно иметь воду, ведь в каждой молекуле есть два атома водорода, готовых к использованию;
- бак будет заправлен уже через несколько минут, что говорит о немалом потенциале в области аккумуляторных технологий;
- в отличие от двигателей внутреннего сгорания, водородные двигатели практически бесшумны.

Недостатки водорода:

- легкое воспламенение газа;
- для хранения водорода газ требуется подвергать огромному давлению, что очевидно опасно и достаточно проблематично добиться этого;
- высокая стоимость.

Более подробно поговорим об опасном явлении - самовозгорание водорода. В присутствии окислителя, в данном случае кислорода, водород может сам просто загореться, последствиями может быть даже взрыв. Достаточно маленькой искры от статического электричества, чтобы этот газ вспыхнул. Еще одной проблемой является невидимость газа.

Летальное свойство водорода заключается в том, что он может привести к удушью. Если начать дышать чистым водородом, то можно просто задохнуться, потому что организм лишен обычного кислорода, однако распознать, что концентрация водорода в воздухе очень высока просто невозможно, из-за свойств невидимости и отсутствия запаха.

Также имеет значение тот факт, что у водорода очень низкая температура. При утечке газа и непосредственным контактом с открытыми участками тела человека, будет получено обморожение.

Работы по созданию автомобилей на альтернативном топливе в индустрии ведутся с конца прошлого века. Но, не смотря на долгие годы работы, у инженеров нет четкого понимания, на каком источнике энергии будет ездить автомобиль будущего. Многие не согласны с использованием водорода для топлива, из-за опасности, в то же время использование бензина является вредным для экологии.

## Источники

1. Прогресс в области водородной энергетики на транспорте в России и в мире [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.cleandex.ru/articles/2012/08/23/h2car> (дата обращения 19.02.22).
2. Водородное топливо [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://extxe.com/11839/vodorodnoe-toplivo/> (дата обращения 14.02.22).
3. Чем опасен водородный двигатель [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://avtika.ru/chem-opasen-vodorodnyy-dvigatel/> (дата обращения 10.02.22).
4. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Галицкий Ю.Я., Ахметшин А.Р. Исследование влияния условий эксплуатации на эффективность использования абсорбционно-холодильной машины в цикле газотурбинных и парогазовых установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. № 4(153). С. 821-831.

УДК 620.92

## ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗОЛИРОВАННЫХ РАЙОНОВ РОССИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

А.Н. Богданова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

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

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Е.Г. Шешуков

В статье представлен обзор перспектив развития возобновляемых источников энергии в населённых пунктах, изолированных от централизованных энергетических сетей.

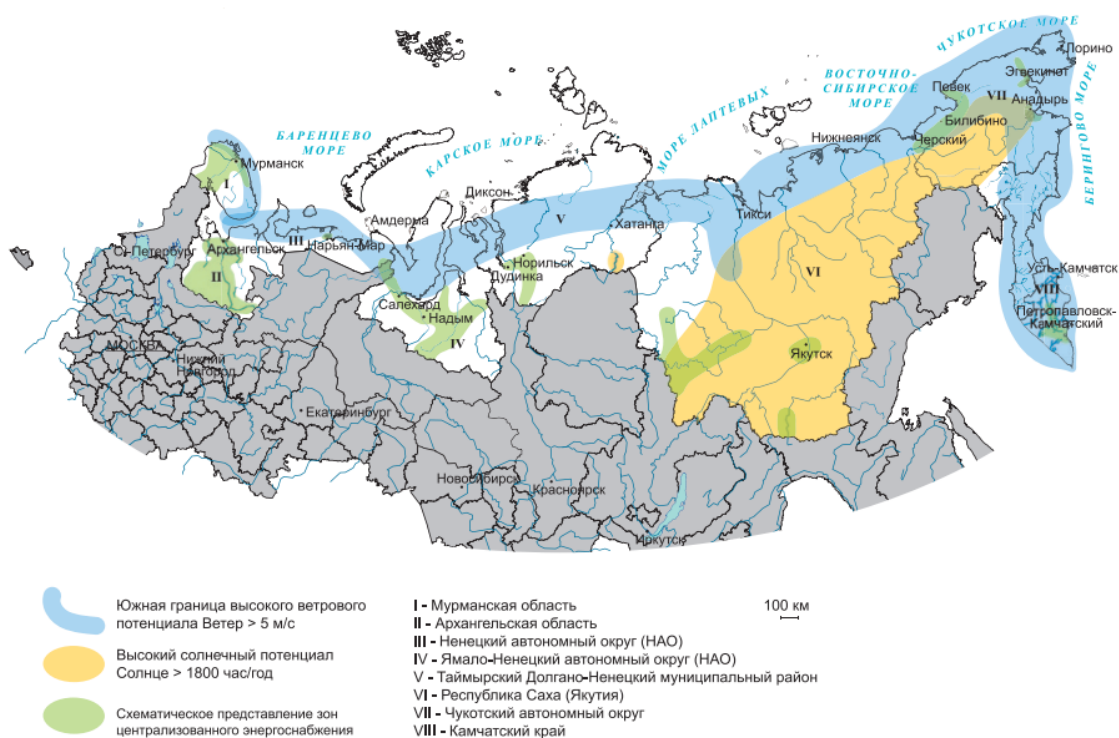
**Ключевые слова:** изолированные районы, энергоснабжение, солнечная энергетика, ветроэнергетика, накопители энергии.

Изолированные районы – районы, не подключённые к Единой национальной электрической цепи (ЕНЭС) и имеющие слабые транспортные связи с развитыми энергетическими узлами [1]. В России около 60 % всей территории не охвачено централизованным энергоснабжением. Большая часть удалённых систем энергоснабжения расположена в зоне Крайнего Севера и приравняемых к нему территориях: Республика Саха, Чукотский АО, Камчатский край, Сахалинская область, Ханты-Мансийский АО – Югра, Ямало-Ненецкий АО.

В таких районах обеспечение электрической энергией производится за счёт привозного дизельного топлива, снабжение потребителей организуется по локальной сети, работающей от подстанции, расположенной при дизельной генерирующей установке. Топливо завозится по сложным логистическим схемам из удалённых субъектов России; это приводит к увеличению сроков доставки и повышению стоимости продукта.

Установление тарифов на электрическую энергию изолированных территорий для населения и возрастание экономически обоснованных тарифов приводят к увеличению объёма бюджетного субсидирования для снижения разницы между ними на уровне регионов. Эту проблему частично может решить внедрение объектов ВИЭ-генерации.

Возобновляемые источники энергии могут найти широкое применение в изолированных регионах России (см. рисунок).



### Потенциал развития ВИЭ-генерации в изолированных районах России

Северные районы страны благоприятны для развития солнечной энергетики. Например, в Арктике поступление прямого солнечного излучения в год составляет 2–5 кВт·ч/ (м<sup>2</sup>·день). В Якутии в безоблачные летние дни этот показатель достигает 6–8 кВт·ч/м<sup>2</sup>; такие же данные наблюдаются на юге России [2].

Также хорошими перспективами обладает ветроэнергетика в районах, где ветры дуют со средними скоростями около 6–7 м/с. В южной части западных регионов существуют условия для развития биоэнергетики, этому способствует наличие древесных отходов и низкосортной древесины. Геотермальная энергетика может найти широкое применение на Чукотке и Камчатке [3]. На данный момент российские разработчики уже занимаются созданием установок, сочетающих ветровые и фотоэлектрические станции с дизельными генераторами, с учетом реальных электрических нагрузок потребителей [4, 5]. Они найдут широкое применение для питания осветительных приборов и средств связи.

Несмотря на богатство удалённых территорий, местными энергоресурсами существует ряд проблем, препятствующих использованию объектов ВИЭ-генерации. Одна из серьёзных проблем – накопители энергии. На данный момент хорошо изученными являются свинцово-кислотные аккумуляторы. Они обладают относительной дешевизной и простотой конструкции, поэтому находят широкое применение. К более новому поколению накопителей энергии относятся литий-ионные аккумуляторы. Их начинают всё чаще использовать в Российской Арктике [6]. Другая важная проблема – развитие технологий для создания установок, способных не ломаться в суровых северных условиях – при очень сильных и порывистых ветрах, низких отметках температуры и минимуме обслуживания.

Состав генерирующих мощностей выбирается исходя из специфических требований промышленных и бытовых потребителей, наличия топливных ресурсов. Большое влияние оказывают климатические условия северных районов России. Установка объектов ВИЭ-генерации обеспечит снижение объёма бюджетного субсидирования и рост надёжности электроснабжения потребителей в изолированных и труднодоступных территориях.

### **Источники**

1. Электроснабжение изолированных населенных пунктов [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://ef-tek.pro/remote\\_areas\\_power\\_supply/](http://ef-tek.pro/remote_areas_power_supply/) (дата обращения 01.03.22).
2. Попель О.С. Климатические данные для возобновляемой энергетики России (База климатических данных): учеб. пособие. М.: Издательство МФТИ, 2010. 56 с.

3. Рузанов В. Т. Состояние и перспективы освоения возобновляемых энергоресурсов на Северо-Востоке России // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: матер. XIV Межд. конф. М.: РУДН, 2015. С. 30–31.

4. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и др.] Актуализация расчетных электрических нагрузок с последующим практическим применением на примере Республики Татарстан // Промышленная энергетика. 2021. № 2. С. 32-40.

5. Soluyanov Y.I., Fedotov A.I., Ahmetshin A.R. Calculation of electrical loads of residential and public buildings based on actual data // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. ISEPC 2019. Vol. 643. Article number 012051. DOI 10.1088/1757-899X/643/1/012051.

6. Возобновляемые источники энергии в изолированных населенных пунктах Российской Арктики [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://wwf.ru/upload/iblock/826/renewable\\_rus.pdf](https://wwf.ru/upload/iblock/826/renewable_rus.pdf) (дата обращения 03.03.22).

УДК 620.9

## РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

А.Е. Быков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

anton.bykov.03.02@gmail.com

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Е.Г. Шешуков

Распределенная водородная энергетика является перспективным направлением, которое в будущем может сместить большинство известных видов генерации электроэнергии. Использование топливного элемента, в основе которого лежит химическая реакция водорода с кислородом, может дополнить и избавить от минусов центральную энергетическую систему.

**Ключевые слова:** распределенная энергетика, водородная энергетика, топливный элемент, генерация.

В XXI веке с появлением новых технологий изменяется подход к развитию энергетике. Централизованная энергетическая система позволяет добиться надежного электроснабжения потребителя. Однако она не лишена весомых недостатков, таких как неоднородная нагрузка, потери мощностей, неспособность обеспечить электроэнергией отдаленные территории и т.д.

Все это способствовало поиску альтернативных способов генерации, что в итоге привело к развитию распределенной энергетики, которая хоть и не смогла заменить централизованную систему, но всячески дополняет ее.

Распределенная энергетика – это производство электроэнергии на месте или вблизи потребителя, по сравнению с централизованной энергосистемой, вне зависимости от технологии, размера или топлива.

По разным данным доля распределенной генерации в России составляет 6–7 %, из которых большую часть составляют ТЭС – 92 %, остальное же приходится на возобновляемые источники энергии [1, 2]. Однако в некоторых странах, таких США и Япония, уже используются энергетические станции, работающие на водороде.

Использовать водород в энергетике можно разными способами, однако наиболее выгодное его использование заключается в выработке электроэнергии в топливных элементах. На данный момент такой элемент по большей части напоминает самый обычный гальванический элемент, только вещество для химической реакции находится не в элементе, а постоянно поступает извне.

Водородный топливный элемент обладает сравнительно высоким КПД, который составляет 60 % [3, 4]. В сравнении с показателями используемых видов электрогенерации, такой источник энергии является наиболее привлекательным.

С одной топливной ячейки вырабатывается 0,8 В, поэтому их объединяют в массивные топливные элементы с рабочим напряжением и током [3]. Одна такая станция может снабжать несколько десятков домашних хозяйств. Выработанная электроэнергия направляется напрямую потребителю, а излишки могут поступать в централизованную сеть либо накапливаться и использоваться в случае просадки мощностей.

На данный момент существует две технологии, по которым работают распределенные водородные электростанции: с подачей водорода из внешних источников, таких как специальные трубопроводы или системы хранения, и посредством электролиза на самих станциях, с последующим использованием полученного водорода в химической реакции.

В качестве примера, можно привести мобильную станцию H2One от компании Toshiba. Получая энергию от солнечных панелей, вода преобразуется в водород, который напрямую подается в топливные ячейки либо накапливается для последующего использования. Такая станция способна обеспечить до трехсот человек электроэнергией и горячей водой на целую неделю. Она может быть использована в аварийных ситуациях, так как требует только воду и солнечный свет, либо же в повседневном режиме снижать нагрузку на центральную сеть [5, 6].

Распределенная водородная генерация активно развивается и в будущем может стать неотъемлемой частью энергетики. Так как водород распространен повсеместно и является экологически чистым топливом, он кажется наиболее привлекательным топливом для получения электричества и не только.

### **Источники**

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-92

2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355.

3. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Галицкий Ю.Я., Ахметшин А.Р. Исследование влияния условий эксплуатации на эффективность использования абсорбционно-холодильной машины в цикле газотурбинных и парогазовых установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. № 4(153). С. 821-831.

4. Собянин В. А., Кириллов В. А. На пороге водородной эры // Наука из первых рук. 2005. Т. 6. № 3.

5. Попов О. В., Гончаров В. С. Системы получения электроэнергии на водородных топливных элементах // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов (ЭЭПП-2019). 2019. С. 363-369.

6. Toshiba H2One: мобильная солнечная энергостанция. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://3dnews.ru/913067> (дата обращения 06.03.2022).

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОПОРШНЕВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ КОМПЛЕКСОВ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ

Э.Р. Валиева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

elvira19102002@gmail.com

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Н.И. Москаленко

В статье рассматриваются преимущества и недостатки использования газопоршневых установок для энергоснабжения жилых комплексов.

**Ключевые слова:** газопоршневая установка, энергоснабжение, мини-ТЭС.

Теплоснабжение – одна из значимых подотраслей жилищно-коммунального хозяйства РФ. Фундамент централизованного теплоснабжения – это производство электро- и теплоэнергии, которая учитывает увеличение производительности коммунальных систем теплоснабжения небольших населенных пунктов строительством теплоэлектроцентралей с газопоршневыми установками [1].

Газопоршневая электрическая станция дает возможность в независимом порядке извлекать электричество и тепло. Газопоршневые установки функционируют на газе, подаваемом в двигатель внутреннего сгорания. Одновременно с электричеством, ГПУ производят термическую энергию, применяемую с целью нагрева воды.

Одним из трудностей энергетики считается трудность подсоединения к централизованным сетям, поскольку требуются крупные материальные расходы, которые могут приносить ощутимую пользу достаточно длительный период. Между тем строительство мини-ТЭС дает возможность по-другому посмотреть на данную задачу. Например, газопоршневые установки, вследствие их компактности, дадут возможность уменьшить затраты, связанные с подсоединением к концентрированной сети, но помимо этого, имеют все шансы быть расположенными в любом из помещений ранее сооруженного жилища. В качестве иной трудности можно подчеркнуть цену топлива, из-за непостоянства позиций, которые следует регулярно принимать во внимание в контексте энергетики. Тем не менее данная задача легко решается с помощью строительства мини-ТЭС. Газопоршневые электростанции функционируют на недорогом варианте горючего – на газах, а также их консистенциях, кроме того, в связи с внешними факторами, легко можно преобразовать работу такой электростанции с одного горючего на иное.



Газотурбинные электростанции различаются от газопоршневых меньшей мощностью, что дает возможность сделать точный выбор, в случае если речь идет о достаточно умеренном энергопотреблении.

С целью оценки экономического эффекта от введения газопоршневых установок в жилых комплексах для энергоснабжения применяются такие характеристики: размер инвестиций; срок окупаемости вложений в план; экономия горючего при выработке второстепенного типа энергии. В ходе оценивания производительности введения ГПУ, согласно приведенным ранее финансовым признакам, обуславливается ряд их положительных сторон по сравнению с существующими оборудованями и технологиями [2].

Так, например, наименьшие денежные расходы, в индивидуальности при автономной работе газопоршневой установки. Потребителю не потребуется оплачивать подключение объекта к централизованным электросетям. Также есть шанс сэкономить при употреблении внешней сети в качестве дополнительной. Поскольку оплата за подключение зависит от мощности потребляемого тока, а объект будет забирать всего 10–15 % «чужого» электричества, экономия станет весьма значительной [3].

Возможность подключения освещения в том числе и при недостатке свободных мощностей на близкорасположенной электрической и тепловой сети. Это освобождает от долгих согласований с ресурсоснабжающими организациями.

Газопоршневые генераторные установки помогут, если необходимо обеспечить электричеством и теплом отдаленный объект. Данные электростанции тратят в целом 0,25 м<sup>3</sup> природного газа в час, по этой причине их можно снабжать топливом из установленного хранилища - газгольдера. Установки не выходят из строя при перепадах давления газа, таким образом имеют все шансы функционировать при наименьшем давлении. Не боятся они еще и перепадов температуры, устойчиво функционируя в том числе и в условиях Крайнего Севера. Электрический коэффициент полезного действия ГПУ составляет 43 %, а общая, с учетом подогрева воды – 90 % [4].

В отличие от газовых турбин, на запуск которых тратится от 30 минут вплоть до двух часов, газопоршневую установку отечественного или зарубежного изготовления можно привести в действие в целом за 15 секунд. Данные установки производятся двух и трёхфазного типа различной мощности, что дает возможность выбрать оптимальный вариант для любого объекта.

Минусы у данных установок тоже существуют, однако, в небольшом количестве. К примеру, потребуется подсоединяться к линии газоснабжения или устанавливать газгольдер, снабжая систематическую доставку газа. Несмотря на то, что нынешние модели газопоршневых станций гудят меньше, но бесшумными их охарактеризовать трудно. Итак, подводя итоги, можно сделать соответствующее выводы, что применение газопоршневой установки в жилых комплексах с целью электро- и теплоснабжения представляется экономически выгодным, а также инвестиционно привлекательным, так как дает возможность уменьшить первоначальную стоимость изготовления, передачи и распределения пара и горячей воды, увеличить эффективность применения топливных ресурсов.

### **Источники**

1. Journal: Bulletin of Belgorod State Technological University named after. V. G. Shukhov volume 5 № 3, 2020 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bulletinbstu.editorum.ru/en/nauka/article/33864/view> (дата обращения 05.03.2022).

2. Научный журнал «Молодой ученый» №38 (328) сентябрь 2020 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/328/> (дата обращения 05.03.2022).

3. Mendeleev D.I., Marin G.E., Akhmetshin A.R. The Implementation and Use of Gas Turbines with Absorption Refrigerating Machine in the Technological Schemes of Thermal Power Plants // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). 2019. article number 8934431. DOI 10.1109/FarEastCon.2019.8934431.

4. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Галицкий Ю.Я., Ахметшин А.Р. Исследование влияния условий эксплуатации на эффективность использования абсорбционно-холодильной машины в цикле газотурбинных и парогазовых установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. № 4(153). С. 821-831.

## КАКОЕ ТОПЛИВО ДЛЯ ТЭС ВЫГОДНЕЕ С ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ

Э.Р. Валиева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

elmiravaliyeva07@gmail.com

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Е.Г. Шешуков

В статье сравниваются три основных вида топлива, используемых на тепловых электростанциях (каменный уголь, мазут и природный газ) с экологической и экономической точек зрения.

**Ключевые слова:** каменный уголь, природный газ, мазут, тепловые электростанции, топливо.

Каменный уголь, природный газ и мазут – это одни из ведущих видов горючего, применяемых в тепловых электростанциях. Однако при сжигании топлива происходит загрязнение окружающей среды окислами азота, серы и золой. Кроме того, ТЭС сильно воздействует на парниковый эффект из-за выбросов углекислого газа. От типа используемого в ТЭС горючего зависят характеристики загрязнений окружающей среды. Рассмотрим какой из трех видов топлива, выделенных мной ранее, является более выгодным с экологической точки зрения.

Каменный уголь. Обширное распространение этого типа топлива стало возможным вследствие его доступности. Уголь во многих месторождениях находится в нескольких метрах от поверхности земли и способен добываться наиболее дешевым открытым методом. Помимо этого, уголь не требует каких-то специальных условий хранения и складировается недалеко от объекта в простые кучи. Современные тепловые электростанции уже давно не используют кусковые угли. На смену него в котлы загружается угольная пыль, получаемая в дробилках либо мельницах. С точки зрения экологии сжигание угля, состоящего из почти чистейшего углерода, выпускает в атмосферу колоссальное количество углекислого газа, что считается одним из основных парниковых газов. Возле тепловых электростанций, функционирующих на угле, а также вблизи с полигонами их отходов, постоянно превышен естественный радиационный фон. Это обусловлено содержанием в угле радиоактивных изотопов, которые попадают в окружающую среду совместно с иными продуктами сгорания.

Перейдем к природному газу, который применяется многочисленными ТЭС. Этот тип горючего имеет явные достоинства. Вредных выбросов, которые отравляют атмосферу, в этом случае существенно меньше, нежели при сгорании угля, т.к. после него не остаются отходы в виде шлака или же золы. Использование ТЭС на газе существенно проще, так как в данном случае не требуется приготовление угольной пыли. Газ не требует специальной подготовки. Газовые теплоэлектростанции являются более управляемыми, что важно в ситуациях с переменными нагрузками. Кроме того, при его сгорании никак не выбрасываются твердые частицы, а выбросы оксидов серы и азота незначительны. По этой причине многие индустриально развитые страны в области тепловой энергетики используют природный газ.

Рассмотрим мазут, который образуется при переработке нефти. По этой причине многие станции ТЭС, использующие в качестве горючего мазут, расположены в регионах добычи нефти. Однако это горючее в ТЭС применяется как второстепенное топливо. При сгорании мазута выделяется огромное количество оксида серы. В наше время мазут в качестве главного топлива не применяется из-за его дороговизны. Однако мазут продолжают применять в качестве растопочного топлива на угольных электростанциях.

Итак, сравнив эти три вида топлива, можно сделать вывод о том, что наиболее выгодным с экономической и экологической точки зрения является природный газ. В то время как в последние годы многие виды топлива на основе углерода столкнулись с необходимостью охлаждения, сжиженный природный газ сегодня является одним из самых быстрорастущих видов топлива во всем мире. Он обладает высокой плотностью энергии, низким содержанием серы и относительно низкими выбросами углерода, что делает его оптимальной заменой другим «более грязным» видам топлива [1, 2].

На втором месте находится каменный уголь, т.к. он наиболее экономичный и экологически чище по сравнению с мазутом. Ведь у угля свободные условия хранения, он не портится и не теряет при этом свои первоначальные качества. Но для того, чтобы получить такое же количество энергии, как от сгорания мазута придется потратить до полутора раз больше угля [5].

Мазут занимает последнюю позицию, и в качестве основного вида топлива она уже давно не рассматривается. Большинство регионов снижают его потребление и переходят на альтернативные ресурсы из-за сильного загрязнения окружающей среды продуктами сгорания и высокой стоимости мазута.

Таким образом, можно подчеркнуть, что в долговременной перспективе все без исключения регионы России, вплоть до этих времен потребляющие тепловую энергию, получаемую от сгорания мазута и угля, желают видеть в качестве ключевого источника энергии природный газ [3, 4]. Эксперты всей планеты сходятся в общем представлении, что именно он будет главным видом горючего в мире в будущем, заменив все производные нефти, каменный уголь и дрова.

### **Источники**

1. Mendeleev D.I., Maryin G.E., Akhmetshin A.R. Improving the efficiency of combined-cycle plant by cooling incoming air using absorption refrigerating machine // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. vol. 643. article number 012099.

2. Mendeleev D. I., Galitskii Y.Y., Marin G.E., Akhmetshin A.R. Study of the work and efficiency improvement of combined-cycle gas turbine plants // E3S Web of Conferences. 2019. vol. 124. article number 05061

3. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-92.

4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355.

5. Dmitrii Glushkov, Geniy Kuznetsov and Kristina Paushkina. Switching Coal-Fired Thermal Power Plant to Composite Fuel for Recovering Industrial and Municipal Waste // Combustion Characteristics, Emissions, and Economic Effect. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/338404945\\_Switching\\_Coal-Fired\\_Thermal\\_Power\\_Plant\\_to\\_Composite\\_Fuel\\_for\\_Recovering\\_Industrial\\_and\\_Municipal\\_Waste\\_Combustion\\_Characteristics\\_Emissions\\_and\\_Economic\\_Effect](https://www.researchgate.net/publication/338404945_Switching_Coal-Fired_Thermal_Power_Plant_to_Composite_Fuel_for_Recovering_Industrial_and_Municipal_Waste_Combustion_Characteristics_Emissions_and_Economic_Effect) (дата обращения 11.02.22).

## ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ НА ПОДГОТОВКУ УГЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК К ПОТОЧНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ

Б.Р. Валиуллин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань.

bulat-valiullin@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Г.Р. Мингалеева

В данной работе рассматривается определение необходимой мощности потребляемой электродвигателем из сети для размола твердого топлива в углеразмольных мельницах различных типов.

**Ключевые слова:** переработка топлива, уголь, газификация, подготовка топлива, измельчение, углеразмольные мельницы.

В условиях резких колебаний цен на нефть и газ и ограниченных возможностей возобновляемых источников энергии твердое топливо. В частности угли различных марок, остается доступным и достаточно дешевым топливом для многих стран. Для России еще в недавнем прошлом уголь являлся широко используемым ресурсом, на основе которого вырабатывалась значительная часть тепловой и электрической энергии путем его прямого сжигания в котлах пылеугольных электростанций. Однако в связи с развитием парогазовых технологий актуальным является интегрирование в их структуру установок переработки твердого топлива для получения газа, пригодного для сжигания в камерах сгорания газотурбинных установок. Наиболее перспективными в этом контексте являются процессы газификации угля [1] и других видов топлив, в том числе и низкокачественных (торф, биомасса и др.).

Способы газификации весьма разнообразны, каждый имеет предпочтительную область применения, определенные достоинства и недостатки [2].

В настоящей работе в качестве области исследования выбраны энергетические установки малой мощности (до 25 МВт), используемые для распределенной генерации. Для данных установок выбран способ поточной газификации углей, а целью исследования является определение затрат энергии на подготовку углей различных месторождений для газификации в потоке.

Системы подготовки твердого топлива для процесса газификации рассматривались в работах [3, 4], где определялись основные факторы, влияющие на процесс переработки углей, такие как дисперсный состав получаемой пыли и влажность.

Проведены расчет затрат энергии при пылеприготовлении углей наиболее перспективных месторождений РФ, состав которых приведен в табл. 1 [5] с использованием зависимостей, рассмотренных в работе [6].

Таблица 1

Состав и свойства углей различных марок

Угли	C <sub>г</sub> , %	H <sub>г</sub> , %	O <sub>г</sub> , %	N <sub>г</sub> , %	S <sub>г</sub> , %	A <sub>р</sub> , %	W <sub>р</sub> , %	V <sub>г</sub> , %	K <sub>ло</sub>
Ирша-Бородинский Б	72	5	20,8	1,3	0,9	10,2	32	49	1,2
Ургальский Г	79	6	14	0,9	0,4	31,6	8,4	42,5	1,05

Рассмотрены замкнутые системы пылеприготовления с использованием воздуха в качестве сушильного агента с различными типами углеразмольных мельниц – шаровыми барабанными (ШБМ), молотковыми (ММТ), среднеходными (СМ) и мельницами-вентиляторами (М-В). Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Затраты энергии на пылеприготовление для различных типов мельниц

Угли	Затраты энергии на пылеприготовление N <sub>с</sub> , кВт		
	ШБМ	ММТ	М-В
Ирша-Бородинский Б	126	41	35
Ургальский Г	170	64	33

Анализ полученных результатов показывает, что наименьшие затраты на измельчение для Ирша-Бородинского бурого угля будут при использовании мельницы-вентилятора, а для Ургальского марки Г так же мельница-вентилятор.

### Источники

1. Рыжков А.Ф., Гордеев С.И., Богатова Т.Ф. Выбор схемы подготовки рабочего тела газовой турбины для ПГУ с внутрицикловой газификацией // Теплоэнергетика. 2015. №11. С.32–37.

2. Рыжков А.Ф. Газогенераторные технологии в энергетике. Екатеринбург: Издательство «Сократ». 2010, 611 с.

3. Втюрин Ю.Н., Кузнецов П.Я. Исследование и перспективы развития новых систем подготовки и подачи топлива на ТЭС // Теплоэнергетика. 1995. №7. С. 46–51.

4. Ковбасюк В.И. Об эффективности различных технологий подготовки и использования влажных топлив в энергетике // Теплофизика высоких температур. 2018. Т. 56, №4. С. 603–608.

5. Галькеева А.А., Мингалеева Г.Р. Анализ применения углей различных марок для производства энергии и химических продуктов // Известия вузов. Проблемы энергетике. 2015. № 11-12. С. 69-79.

6. Назмеев Ю.Г., Мингалеева Г.Р. Системы топливоподачи и пылеприготовления ТЭС: справочное пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2005. 480 с.

УДК 621.3

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ**

Л.Ф. Гайфиева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

lasana01@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Н. Маслов

В статье проведён обзор перспективы развития геотермальной энергетики. Приведены примеры небольших проектов по возобновляемым источникам энергии в отдаленных районах России. Описана проблема защиты оборудования ГеоЭС. Отмечены положительные эффекты строительства геотермальных электростанций.

**Ключевые слова:** геотермальная энергия, геотермальные источники, ГеоЭС.

Геотермальная энергия – это тепло, вырабатываемое в недрах Земли. (Гео означает «земля», а термальное в переводе с греческого значит «тепло».) По мере приближения к ядру температура в Земле поднимается. Когда подземные горные породы нагреваются до 700–1300 °С, они превращаются в магму. Магма – это расплавленная горная порода, которая содержит огромное количество химических соединений. Горячая вода способна выделяться через гейзеры, горячие источники, паровые источники и подводные гидротермальные источники [2].



Все вышеописанные источники – это источники геотермальной энергии. Их тепло используется для отопления, а пар – для выработки электроэнергии. В России электрическая энергия вырабатывается с помощью геотермальных электростанций (ГеоЭС), которые расположены на Камчатском полуострове и Курильских островах. Социальные, экономические и экологические аспекты существенно способствуют внедрению и развитию геотермальной энергетики. Социальные аспекты отображают общественные мнения, а так же стремление отказаться от традиционных методов выработки энергии, внедрять новейшие, нетрадиционные, экологически чистые геотермальные технологии, выбор мощности которых необходимо проводить на основе фактических данных по электрическим нагрузкам [1, 3].

В 1999 г. была построена уникальная Верхне-Мутновская ГеоЭС (ВМГеоЭС) мощностью 12 МВт. Опыт, который получили вовремя строительства и эксплуатации Верхне-Мутновской ГеоЭС был использован для строительства Мутновской ГеоЭС мощностью 50 МВт – автоматизированная электростанция со спутниковой системой связи и управления.

Научно-технический уровень геотермальных технологий в России на сегодняшний день довольно высокий. На Камчатке были созданы две уникально экологически чистых геотермических электростанций. Обеспечивается высокий уровень защиты окружающей среды, путем изолирования геотермальной жидкости с использованием воздушных конденсаторов и системы полной обратной закачки отработавшей геотермальной жидкости обратно в резервуар. Наиболее важной проблемой защиты оборудования ГеоЭС является коррозия и солевые отложения, которая была решена благодаря специальной технологии использования пленкообразующих аминных добавок [4].

При строительстве геотермальных электростанций наблюдается множество позитивных эффектов такие как:

1. Довольно низкие себестоимости вырабатываемой электроэнергии.
2. Регионы менее сильно зависят от нефти. Каждые 10 МВт электроэнергии, которые получают на ГеоЭС ежегодно, экономят 150 тыс. баррелей сырой нефти в год.
3. Большое количество ресурсов. Вероятность истощения намного ниже, чем с иными энергетическими источниками.

Таким образом, геотермальная энергетика, является одним из перспективных видов вырабатывания электрической энергии так же, как и современные ГТУ.

### **Источники**

1. Гарипов М.Г., Гарипов В.М. Геотермальная энергетика // Вестник Казанского технологического университета. 2014. С. 202.
2. Белоокая Н.В., Пивоварова Е.И., Обзор альтернативных источников энергии. Геотермальная энергия. // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2015. № 1 (12). С. 67-72.
3. Говорушко С.М. Геотермальные электростанции и экологические последствия их эксплуатации. // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология 2011. № 4. С. 43-47.
4. Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии // Физматлит. 2008.С. 376.

УДК 620.91

## **ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ВОДОРОДА И ХИМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ**

Р.М. Галяутдинов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
ryslik\_0101@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Г.Р. Мингалеева

Целью работы является изучение перспектив комплексной переработки твердых топлив с получением водорода и ряда химических продуктов. В результате исследований был выбран метод газификации, топливо и рассмотрена блочная схема процесса газификации.

**Ключевые слова:** переработка топлива, уголь, газификация, водород.

Согласно «Долгосрочной программе развития угольной промышленности в России на период до 2030 года» предполагается развитие угольной отрасли путем внедрения «чистых угольных технологий», таких как газификация [1]. В процессе газификации угля могут быть получены ценные продукты, которые используются в энергетике и химической промышленности [2]. Существует несколько основных методов газификации угля, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки. В процессе Лурги, представляющем собой переработку топлива в неподвижном слое, присутствует необходимость использования сортированного угля. При этом продукты пиролиза уходят с газом, что требует более сложной очистки. Также этому методу присуща низкая степень использования водяного пара, что увеличивает затраты энергии на процесс [3].

В методе Винклера использована газификация топлива в кипящем слое. Процентное соотношение продуктов переработки топлива не является оптимальным для получения водорода и других продуктов газификации [3]. Современные методы газификации угля, такие как метод Хай-газ, являются многоступенчатыми, проводятся при повышенном давлении и больше подходят для получения метана. Наиболее эффективным методом газификации для получения водорода является процесс Копперс-Тотцека. Этот метод имеет высокую степень переработки и температуру процесса, является прямоточным и может быть усовершенствован путем обеспечения более высокого давления и температуры [3]. Продукты переработки при реализации вышеуказанных методов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Продукты переработки угля в процессе газификации различными методами [2]

Продукты переработки угля, % об.	процесс Лурги	процесс Копперс-Тотцека	метод Винклера	метод Хай-газ
CO	58	57	48	7
CO <sub>2</sub>	6	10	14	7
H <sub>2</sub>	26	31	35	23
CH <sub>4</sub>	9	1	1	35

Для производства водорода целесообразно использовать процесс Копперс-Тотцека, рассмотренный далее. В качестве топлива взят Ирша-Бородинский уголь, добываемый в разрезе Бородинский. Ирша-Бородинский уголь является наиболее экологичным, с небольшим содержанием золы, а месторождение имеет перспективы долгосрочного использования [1]. Характеристики данного угля приведены в табл. 2.

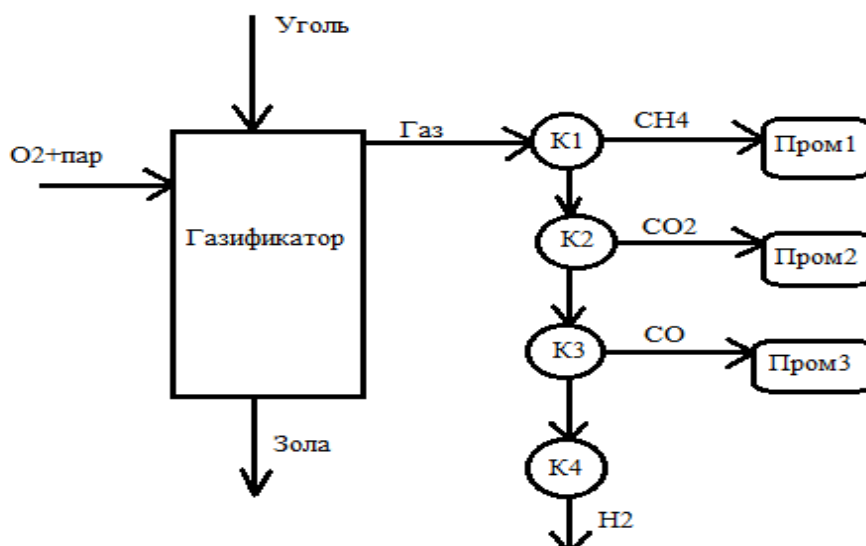
Таблица 2

Состав Ирша-Бородинского угля [1]

C <sup>r</sup> , %	H <sup>r</sup> , %	O <sup>r</sup> , %	N <sup>r</sup> , %	S <sup>r</sup> , %	A <sup>p</sup> , %	W <sup>p</sup> , %	V <sup>r</sup> , %
72	5	20,8	1,3	0,9	10,2	32	49

На рисунке приведена блочная поточная схема газификации, при использовании в качестве окислителя паро-кислородной смеси и дальнейшего распределения продуктов переработки по отраслям.

Состав продуктов газификации при температуре 1200 °С приведен в работе [4]. В поточный газификатор подается измельченный пылевидный уголь и смесь пара и кислорода, в блоках конденсации осуществляется охлаждение и разделение газовой смеси. Сначала отделяются углеводороды, в данном случае  $\text{CH}_4$  (блок К1), содержание которых достаточно мало (менее 1 %). Затем конденсируется  $\text{CO}_2$  (блок К2), использующийся при производстве сельскохозяйственных удобрений. Далее выделяется  $\text{CO}$  (К3), используемый для производства спиртов и полимеров. Оставшийся  $\text{H}_2$  (блок К4) может использоваться как экологически чистое топливо. Зола, удаляемая из газификатора, используется в строительной индустрии. Сероводород  $\text{H}_2\text{S}$  может быть выделен из смеси путем адсорбции активированным углем.



Блочная схема газификации и разделения продуктов

Материальный баланс продуктов переработки угля в расчете на 100 кг исходного сырья  $G_y$  и подачи окислителя  $G_{ок}$  может быть записан следующим образом, кг/1кг топлива:

$$G_y + G_{ок} = G_z + G_{\text{CH}_4} + G_{\text{CO}} + G_{\text{CO}_2} + G_{\text{H}_2} + G_{\text{пр}},$$

где  $G_z$ ,  $G_{\text{CH}_4}$ ,  $G_{\text{CO}}$ ,  $G_{\text{H}_2}$ ,  $G_{\text{пр}}$  – масса золы, метана, оксида углерода, водорода и прочих веществ, таких как сероводород и водяные пары, образующихся в малых количествах, соответственно. Таким образом, в результате расчетов получены количественные значения продуктов переработки угля.

### Источники

1. Мингалеева Г.Р., Валиуллин Б.Р. Уголь как перспективное сырье и топливо // Нефтегазовая вертикаль. 2021. №23-34. С.30–35.
2. Николаева С.В., Латыпова. Ф. Н., Шавшукова С. Ю. Современные процессы переработки угля // Башкирский химический журнал. 2009. Т. 16. №3. С.122-130.
3. Шпильрайн Э.Э., Малышенко С.П., Кулешов Г.Г. Введение в водородную энергетику. М.: Энергоатомиздат. 1984, 264 с.
4. Галькеева А.А., Мингалеева Г.Р. Анализ применения углей различных марок для производства энергии и химических продуктов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2015. № 11-12. С. 69-79.

УДК 621.31

## ВЛИЯНИЕ ОПТОВОГО РЫНКА НА ЦЕНООБРАЗОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Ю.Д. Ганюшкина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ulya.ganyushkina@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Н. Маслов

В данной работе рассматривается ценообразование на оптовом рынке электроэнергетики на примере Российской Федерации. Также затрагивается тема влияния фундаментальных факторов на стоимость электроэнергии.

**Ключевые слова:** ценообразование, влияние на цену электроэнергии, оптовый рынок электроэнергии, энергоэффективность.

Ценообразование – определение стоимости на товар или услугу. Это довольно важный момент в функционировании рынков электроэнергии из-за возросшей капиталоемкости и длительных этапов создания и эксплуатации энергетических установок [1, 2].

Участниками оптового рынка являются большие поставщики и покупатели электрической энергии и мощности. Если сравнить, потребителей и поставщиков, то можно заметить, что потребители оказывают меньшее влияние на формирование цены на рынки электроэнергии. В заявке поставщиков стоимость отражает топливную составляющую стоимости выработки электроэнергии, поскольку при отборе ценовых предложений приоритет отдается дешевым предложениям поставщиков и дорогим предложениям покупателей. Они составляют, в большей мере, предложения о повышении цен, выражающие приобрести электроэнергию по любой цене [3].

Электричество – это товар, свойства которого определены с самого начала. Поэтому можно предположить, что поведение потребителей, связанное с выбором источника энергии, будет во многом определяться стоимостью энергоресурсов [4, 5]. Воздействие основных факторов на стоимость электроэнергии на исследуемых рынках зависит от используемого временного масштаба. Влияние спроса на цену электроэнергии является односторонним в краткосрочной перспективе и двусторонним в долгосрочной перспективе в регионе «Европа-Урал», а в регионе «Сибирь» в долгосрочной перспективе было обнаружено сильное одностороннее влияние. [1]. Для изучения механизма ценообразования с помощью топлива используется среднесрочная модель «маржинального топлива». Она предполагает, что цена электроэнергии в любой момент времени определяется стоимостью конкретного вида топлива в связи с текущей технической ситуацией. Используя подходы марковского переключения, можно заметить, что предельные затраты на топливные ресурсы имеют довольно завышенную объяснительную силу для ценового раздела «Европа-Урал» и что механизм ценообразования эффективен. В то же время результаты по ценовому сегменту «Сибирь» не столь однозначны и требуют учета ряда дополнительных факторов [3]. Проанализировав ценовой механизм развивающегося оптового рынка электроэнергии на примере России, можно сделать вывод: эффективность ценообразования на оптовом рынке электроэнергии в Российской Федерации зависит от цены первичных топливных ресурсов и спроса на цену электроэнергии.

### **Источники**

1. Афанасьев Д.О. Цена электроэнергии: что определяет ее динамику на различных временных масштабах // Финансовая аналитика: проблемы и решения. 2017. Т. 10. № 9 (339). С. 1032-1047.

2. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Галицкий Ю.Я. [и др.] Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71.

3. Афанасьев Д.О., Федорова Е.А. Конкурентный рынок электроэнергии в России: миф или реальность // Научные труды Вольного экономического общества России. 2015. Т. 194. № 5. С. 291-311.

4. Трачук А.В., Линдер Н.В., Зубакин В.А., Золотова И.Ю., Володин Ю.В. Перекрестное субсидирование в электроэнергетике: проблемы и пути решения. СПб.: Издательский дом «Реальная экономика», 2017. С. 6-7.

5. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-92.

УДК 620.93

## СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭНЕРГИИ С НАИБОЛЬШИМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ

Л.А. Глоткина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

glotkina\_lyuba@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Н. Маслов

Современная цивилизация построена на использовании электрической энергии, значительную часть которой человечество в ближайшее время будет получать благодаря атомным электростанциям. Поэтому в статье рассматривается развитие атомной энергетики, как неисчерпаемый источник света.

**Ключевые слова:** атомная энергия, реакторы на быстрых нейтронах, новое топливо, замкнутый ядерный цикл, энергия.

Энергия лежит в основе всего мирового порядка. Потребности в энергоресурсах все растут, а запасы снижаются. Для ее получения люди придумывают все новые и новые технологии. Но, пожалуй, самый таинственный и непостижимый способ получения энергии – ядерная реакция. У нее есть свои неоспоримые достоинства и недостатки, но сейчас человечество вплотную подобралось к освоению технологий, которые позволят сделать атомную энергетику не только экологически чистой, но и практически неисчерпаемой [1].

Атомная электростанция – это сложное сооружение, где расположено технологическое оборудование. Самая главная ее часть – это здание реактора, где помещена вся реакторная установка, рядом со зданием реактора расположено машинное отделение, откуда осуществляется управление реактором, а также здание безопасности.

На атомных электростанциях существует три формы преобразования энергии: расщепление атома дает тепловую энергию, тепловая преобразуется в механическую, а механическая – в электрическую энергию [2].

В настоящее время наиболее часто используемыми ядерными реакторами в мире являются реакторы на тепловых нейтронах. Атомные электростанции с таким типом реакции в основном используют уран-235. В уране очень мало таких изотопов, и его ресурсная база быстро истощается. Эти факторы делают ядерную энергию, основанную на тепловых нейтронах, непригодной для удовлетворения энергетических потребностей человека в течение длительного времени. Но еще существуют реакторы на быстрых нейтронах, с помощью которых можно сжигать не только природный уран, а также отработанное ядерное топливо от реакторов с тепловыми нейтронами [3].

Главными преимуществами реакторов на быстрых нейтронах являются способность вырабатывать новое топливо и использовать самый распространенный изотоп урана, которого накопилось очень много в процессе производства урана-235, что обеспечит перспективу ядерной энергетике на тысячелетия, благодаря замкнутому топливному циклу.

#### **Источники**

1. Научный электронный журнал «Меридиан». Теплофизический расчет реактора БН-800 на МОХ-топливе [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://meridian-journal.ru/site/article?id=3903> (дата обращения 12.02.22).
2. Росатом. Как работает АЭС? [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.rosenergoatom.ru/stations\\_projects/atomnye-elektrostantsii-rossii/kak-rabotaet-aes/](https://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/atomnye-elektrostantsii-rossii/kak-rabotaet-aes/) (дата обращения 23.02.22).
3. Проект «Прорыв» – наука и инновации – Росатом [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://niirosatom.ru/project/proryv/> (дата обращения 26.02.22).

УДК 621.311

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

П.Ю. Гурьева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[gureva.polina1@mail.com](mailto:gureva.polina1@mail.com)

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Р. Ахметшин

В статье представлена информация на тему перспективного развития и применения систем накопления энергии в энергосистемах, их влияние на энергетiku.

**Ключевые слова:** системы аккумулирования электроэнергетики, накопители, энергетика.



С каждым годом энергетика стремительно развивается, в настоящее время это происходит в основном из-за влияния технологических факторов. В современных энергосистемах можно наблюдать процесс трансформации инфраструктуры, а также переход к интеллектуальному управлению. Создаваемая новая научно - техническая модель электроэнергетики будет характеризоваться в первую очередь увеличением сложности энергосистем, повышением требований по удобству доступа, качеству и безопасности. Системы аккумулирования и хранения энергии являются фундаментом не только «умной» энергетики, но и в целом новой промышленной революцией. На сегодняшний день Российский рынок производства и применения систем накопления электроэнергии представлен единичными проектами несмотря на то, что их потенциал огромен.

Применение систем накопления в будущем позволит повысить мощность выработки электроэнергии и оптимизировать процесс ее производства на базовых электростанциях, улучшить технико-экономические показатели крупных энергоблоков благодаря уменьшению расходов на эксплуатацию и при покупке электроэнергии в случае перехода на многоставочные тарифы, регулировать график нагрузки и компенсировать ее предельные изменения. Также накопители позволяют создать энергетический запас без избыточной работы генерирующих мощностей и уменьшить потери в питающих линиях и трансформаторах за счет выравнивания питающего тока. Кроме того, накопители могут значительно увеличить надежность крупной станции и регулировать частоту. Системы накопления могут управляться как удаленно, так и локально, благодаря возможности проектирования их таким образом, чтобы быстро реагировать на управляющие команды, независимо от местонахождения оператора. Благодаря таким накопителям электроэнергия станет доступной и востребованной для потребителя, так как цена на электроэнергию значительно уменьшится, а качество энергоснабжения и надежности возрастет [1, 2].

Но каждая технология накопления энергии характеризуется большими первоначальными финансовыми вложениями на ее внедрение, установку и расходами на эксплуатацию. На данный момент некоторые технологии накопления энергии не являются достаточно экономически эффективными, так как их высокая стоимость не соответствует получаемому эффекту и в перспективе необходимо значительно снизить капитальные затраты. В идеале рынки и тарифы должны быть сконструированы таким образом, чтобы можно было бы воспользоваться преимуществами систем накопления без дополнительных неоправданных затрат [3].

Таким образом, основная цель накопителей электроэнергии – это формирование новой энергетической инфраструктуры, которая предоставит российской энергетике возможность существенно увеличить свою производительность и поддерживать конкурентоспособность энергоёмкой промышленности, которая в ближайшее время будет так же как и раньше вносить фундаментальный вклад в развитие экономики страны.

### **Источники**

1. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Галицкий Ю.Я. [и др.] Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71.

2. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и др.] Исследование электрических нагрузок многоквартирных жилых комплексов в период распространения новой коронавирусной инфекции // Вопросы электротехнологии. 2021. № 2(31). С. 57-67.

3. Electric Energy Storage Technology Options. A White Paper Primer on Applications, Cost and Benefits, Отчет EPRI №1020676, December 2010.

УДК 621.311.22

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ГТУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АБСОРЦИОННО-ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ИНДОНЕЗИИ**

Д.И. Демократиа

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

immanueljc19@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Н. Маслов

В статье предложен сравнительный анализ работы ГТУ НК-16-18СТ с использованием и без использования системы охлаждения. С целью уменьшения влияния высокой температуры сжимаемого воздуха в газотурбинном компрессоре и повышения работы ГТУ, предлагается применять предварительное охлаждение воздуха. В качестве систем охлаждения была выбрана абсорбционно-холодильная машина. Представлены результаты применения абсорбционно-холодильной машины (АБХМ) в качестве системы охлаждения воздуха перед компрессором. Применение АБХМ на ГТУ повышает вырабатываемую мощность и эффективный КПД ГТУ на 5,8 МВт и 4,12 % при температуре окружающей среды равна 40 °С.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка, абсорбционно-холодильная машина, энергоэффективность, климатические условия.

Влияние температуры окружающей среды сообщалось несколькими авторами, что газовая турбина (ГТУ) теряет тепловой КПД и свою валовую (полезную) выходную мощность при каждом повышении температуры окружающей среды выше условия ISO [1–4]. Высокая температура окружающей среды снижает плотность воздуха. Таким образом, массовый поток воздуха, поступающий в компрессор ГТУ уменьшается. Вырабатываемая мощность ГТУ близка к линейной функции массового расхода воздуха, поэтому вырабатываемая мощность ГТУ уменьшается. Среднемесячная относительная температура воздуха в Индонезии, именно в северном Калимантане в 2020 г. колеблется в пределах 27–30 °С. Самая высокая среднемесячная относительная температура наблюдалась в апреле 40 °С, в то время как самая низкая среднемесячная относительная температура наблюдалась в октябре 26 °С.

Повышенная температура окружающей среды снижает плотность входного воздуха, тем самым уменьшая массовый расход через турбину, и, следовательно, снижает вырабатываемую мощность. При повышении температуры окружающей среды с 288 (+15) до 333 К (+40°С), вырабатываемая мощность установки снизилась с 18024,3 до 12158,7 кВт, а эффективный КПД – с 29,42 до 25,28 %.

Использование АБХМ на ГТУ не предполагает изменений в конструкции основного оборудования, тем самым сводя к минимуму как затраты. И время на модификацию система охлаждения АБХМ уделялось больше внимания, поскольку оно может использовать энергию выхлопных газов низкого качества вместо электрической энергии для обеспечения необходимого охлаждения [5, 6]. Тоже видно, что снижение температуры на входе в компрессор является полезным инструментом для улучшения работы ГТУ. В этом исследовании система АБХМ предназначена для охлаждения температуры воздуха на входе компрессора на разность температур 25 °С, при которой самая высокая прогнозируемая температура в Индонезии составляет 40°С. Конструкция АБХМ позволяет снизить температуру на входе компрессора с 40 до 15°С.

Сравнение прогнозируемых рабочих параметров газовой турбины с использованием схемы охлаждения АБХМ

Параметры	Базовый вариант при условии ISO, 15°C	Базовый вариант, 40°C (без АБХМ)	Охлаждение от 40°C до 15°C
Температура воздуха на входе компрессора (К)	288	333	288
Температура газа на выходе двигателя (К)	666,96	716,69	625,15
Вырабатываемая мощность (кВт)	18 023,80	12 167,10	17 865,20
Эффективный КПД (%)	29,42	25,28	29,38

В таблице сравниваются рабочие параметры газовой турбины для предлагаемой схемы воздушного охлаждения на входе компрессора с базовым вариантом при условии ISO, при температуре 40 °С подается на вход компрессора с охлаждением и без охлаждения воздуха. Конструкция газовой турбины НК-16-18СТ, разработанная производителем, составляет выходную мощность 18 МВт и КПД 29,4 % при условии ISO. Получилось, что вырабатываемая мощность ГТУ с использованием АБХМ может достигать 17865,20 кВт, а КПД – 29,38 % при температуре окружающей среды 40°C.

#### Источники

1. Mendeleev D.I., Maryin G.E., Akhmetshin A.R. Improving the efficiency of combined-cycle plant by cooling incoming air using absorption refrigerating machine // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. vol. 643. article number 012099. DOI 10.1088/1757-899X/643/1/012099.

2. Soluyanov Y.I., Fedotov A.I., Soluyanov D.Y., Akhmetshin A.R. Experimental research of electrical loads in residential and public buildings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. vol. 860. article number 012026. DOI 10.1088/1757-899X/860/1/012026.

3. Mendeleev D. I., Galitskii Y.Y., Marin G.E., Akhmetshin A.R. Study of the work and efficiency improvement of combined-cycle gas turbine plants // E3S Web of Conferences. 2019. vol. 124. article number 05061. DOI 10.1051/e3sconf/201912405061.

4. Mendeleev D.I., Marin G.E., Akhmetshin A.R. The Implementation and Use of Gas Turbines with Absorption Refrigerating Machine in the Technological Schemes of Thermal Power Plants // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). 2019. article number 8934431. DOI 10.1109/FarEastCon.2019.8934431.

5. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-92.

6. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Галицкий Ю.Я., Ахметшин А.Р. Исследование влияния условий эксплуатации на эффективность использования абсорбционно-холодильной машины в цикле газотурбинных и парогазовых установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. № 4(153). С. 821-831.

УДК 621.438

## ПЕРСПЕКТИВЫ ГТУ МАЛОЙ МОЩНОСТИ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ

Д.С. Донецкий<sup>1</sup>, А.В. Ишалин<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup> myta.99@bk.ru, <sup>2</sup> aiv1999@yandex.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Г.Р. Мингалеева

В статье рассмотрены перспективы ГТУ малой мощности, объекты для внедрения и целесообразность ввода на российский рынок электроэнергии.

**Ключевые слова:** РФ, ГТУ, топливо, турбина, мощность, природный газ.

Малая генерация является стремительно развивающимся направлением в энергетике. По данным различных источников, доля малой энергетики, представляющей собой тепловые электростанции в диапазоне мощностей от 100 кВт до 25 МВт в Российской Федерации, составляет на сегодняшний день 6–7 % [1, 2]. Хотя использование таких электростанций освобождает от капитальных затрат на строительство линий электропередач для отдаленных районов, что позволяет минимизировать срок окупаемости. Также позволяет повысить надежность энергетического оборудования для централизованных районов. Использование таких установок может быть автономно и производиться в любом типе местности и любой климатической зоне. И могут служить как в роли основного оборудования, так и вспомогательного. На российском рынке представлены множество моделей ГТУ, среди них как импортные, так и отечественные, в последнее время упор идет в сторону Российских моделей. Коэффициент полезного действия (КПД) современных мощных ГТУ достигает 40 % (см. таблицу) [3].

Преимущества ГТУ малой мощности

- работа в широком диапазоне нагрузок;
- бесшумность;
- низкий уровень вибрации;
- невысокий процент вредных веществ в выхлопном газе.

Также немаловажной является перспектива использования ГТУ малой мощности совместно с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). При внедрении ВИЭ энергосистема обретает нужду в гибкости и оперативной работе других энергетических машин [4]. Оперативное срабатывание позволит поддерживать необходимую выдаваемую мощность, например, в пасмурные или безветренные дни. Поэтому для турбин малой мощности необходимо адаптироваться к регулярным пускам и изменениям нагрузки с минимальными потерями.

Сравнение параметров ГТУ малой мощности

Модель газовой турбины	M7A-03D	SGT-300
Электрическая мощность, кВт	7 670	7 900
Мощность по теплу, КДж/кВт-ч	10 820	11532
Температура выхлопного газа, °С	526	537
Весовой расход выхлопного газа, $\times 10^3$ кг/ч	97,6	107,3
Электрический КПД, %	33,2	31,2
NOx, ppm	15	15
Примерные габаритные размеры (Длина, Ширина, Высота), м	11,5 x 2,8 x 3,6	10,75 x 2,4 x 3,58

В ближайшем будущем наиболее распространенным способом использования газовых турбин все же останется их привычное сочетание с паровыми турбинами в составе парогазовых установок. В нашей стране рынок объектов малой энергетики не полон и ждёт насыщения.

Компактные размеры упрощают использование ГТУ малой мощности, так как не нужно большого помещения для размещения ГТУ, не нужен особый фундамент под ГТУ. Именно эти качества делают ГТУ конкурентно способными на фоне ГТУ высокой мощности, и возникает необходимость расчета эксплуатационных характеристик показателей применения на российском рынке выработки электрической и тепловой энергии.

### Источники

1. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р. Структурный анализ энерготехнологических комплексов малой распределенной генерации // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2018. Т. 14. № 5. С. 75-83.

2. Гуреев В.М., Зайнутдинов Э.А., Исламов М.А. О реализации проекта создания малых генерирующих энергоустановок в ООО «УК «КамЭнергоРемонт-Холдинг» // Энергетика Татарстана. 2007. № 4(8). С. 77-80.

3. Ганжа А.Н., Марченко Н.А. Повышение эффективности стационарной ГТУ за счет регенерации теплоты с возможным перепуском газов // Двигатели внутреннего сгорания. 2013. №2. С. 32-36.

4. Государственная корпорация «Ростех». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rostec.ru/innovations/projects/4136/> (дата обращения 12.03.2021).

УДК 621.311

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

М.Д. Елфутин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

boombardiro@mail.ru

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Е.Г. Шешуков

В статье рассмотрена проблема рынка электроэнергетики, представлены преимущества использования виртуальных электростанций, а так же дальнейшие перспективы их развития в России и других странах.

**Ключевые слова:** виртуальные электростанции (ВиЭС), возобновляемые источники энергии (ВИЭ), электроэнергия, энергосбыт.

В связи с ежегодным ростом производства растет и потребление электроэнергии. Но ресурсы, затрачиваемые на выработку электроэнергии, к сожалению, имеют свойство заканчиваться – человечество постепенно истощает недра Земли. Поэтому большинство стран прибегают к активному внедрению возобновляемых источников энергии (ВИЭ), стремясь, не ослабляя темпы производства, реализовать наиболее выгодные для природы и экологии в целом пути решения данной проблемы. Мы смело можем утверждать важность альтернативной энергетики в будущем человечества.

Однако, не смотря на большие достоинства, ВИЭ имеют и ряд не менее весомых недостатков, важнейшим из которых является непостоянство выработки электроэнергии. Например, учитывая эффективность ветряных ферм, мы не можем наблюдать их непрерывной работы из-за сезонов перелетов птиц, а солнечные батареи действуют днем и в хороших погодных условиях [1].

Но проблема производства заключается далеко не в таких очевидных вещах. Речь идет о балансе спроса и предложения в режиме постоянного времени. В связи с периодами чрезмерной генерации и малой нагрузки, избыток нуждается в аккумулировании и рациональном использовании во время прироста потребления. Снижение стоимости избыточной электроэнергии на рынке стало растущей проблемой производителей, а традиционные методы и средства балансировки спроса и предложения становятся все менее практичными, т.к. основная генерация бывает неподвластной диспетчеризации и, более того, предсказуемой. Перспективным решением является внедрение в производство виртуальных электростанций [2, 3].

Виртуальные электростанции (ВиЭС) – это облачные IT-системы, основанные на принципе подключения, в основном, небольшой мощности, источников энергии и ее потребителей, находящихся по близости. Данные системы позволяют наиболее рационально использовать всю предоставленную им электроэнергию, путем распределения между потребителями: накопления, торговли как во внутренних, так и во внешних рынках.

Все участники сети с максимальной выгодой пользуются ресурсами, что повышает контроль над спросом и предложением. К тому же, потребители зачастую являются и производителями. IT-системы сами контролируют генерацию в зависимости от спроса на рынке и уже имеющихся ресурсов. В состав такой системы могут входить абсолютно любые источники, потребители и аккумулирующие устройства, будь то целые ветровые парки, то централизованные СЭС. Основная задача ВиЭС – «умное» и автономное распределение электроэнергии. Главный недостаток ВиЭС – дорогостоящее внедрение и обслуживание. Внедрение должно основываться на реальной потребности в электроэнергии [4, 5].

В Китае ВиЭС начали внедряться сравнительно поздно, однако развитие приобретало быстрые темпы. Например, в городе Шанхай энергетическая компания начала реализовывать крупный проект по эксплуатации ВиЭС. 18 декабря 2019 г. в сделке приняли участие 226 клиентов с нагрузкой 87,000 кВт, а в 2020 г. число клиентов возросло до 512, которые включали в себя зарядные устройства электромобилей, системы хранения энергии, коммерческие здания и многое другое. В будущем планируется подключение свыше 10,000 пользователей.



11 декабря 2019 г. в провинции Хэбэй был выпущен демонстрационный проект – мобильное приложение на основе платформы, дистанционно контролирующей процессы зарядки и регулирования температуры электромобилей, холодильников и кондиционеров [6].

В Словении энергосбытовая компания Elektro Ljubljana является крупнейшей компанией страны, поставляющей электроэнергию более чем 350,000 потребителей. Подключенная мощность полностью функционирующей на коммерческой основе с 2011 года ВиЭС достигла отметки в 63 МВт [7].

Арендаторам многоквартирных домов шт. Техас в районе Монтроуз в Хьюстоне предоставляется возможность подписаться на виртуальную электростанцию solar-plus-storage, оснащенную аппаратами SolarEdge, а так же облачными программными сервисами. Жителями будет использоваться недорогая чистая энергия и устойчивая мощность [5].

### Источники

1. Виртуальные электростанции. Можно ли управлять источниками «зелёной» энергии? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/toshibarus/blog/451950/> (дата обращения 03.03.22).

2. Виртуальная электростанция – что это, и зачем. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://luckyea77.livejournal.com/2453616.html> (дата обращения 03.03.22).

3. Окунева В.В., Агамирзоев А.А., Корнев К.Б. Реализация распределенной генерации посредством создания виртуальных электростанций // Вестник Тверского государственного технического университета. 2020. №3 (7). С. 51-59.

4. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Галицкий Ю.Я. [и др.] Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71.

5. Солуянов Ю. И., Федотов А. И., Ахметшин А. Р. и др. Исследование электрических нагрузок многоквартирных жилых комплексов в период распространения новой коронавирусной инфекции // Вопросы электротехнологии. 2021. № 2(31). С. 57-67.

6. Texas community virtual power plant to use SolarEdge Energy Bank battery storage [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.energy-storage.news/texas-community-virtual-power-plant-to-use-solaredges-energy-bank-battery-storage/> (дата обращения 03.03.22).

7. Виртуальная электростанция – «умный контроль» распределенной генерации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.eprussia.ru/epr/244/15964.htm> (дата обращения 03.03.22).

УДК 621.45.034

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КАМЕР СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Д.В. Ефимов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

28efidimamov21russ@mail.ru

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Е.Г. Шешуков

Изучены история развития и классификация камер сгорания ГТУ. Определены основные направления совершенствования КС. Приведены примеры возможных путей улучшения камер сгорания ГТУ.

**Ключевые слова:** камера сгорания, вредные вещества, основные требования, расход воздуха, зоны сгорания.

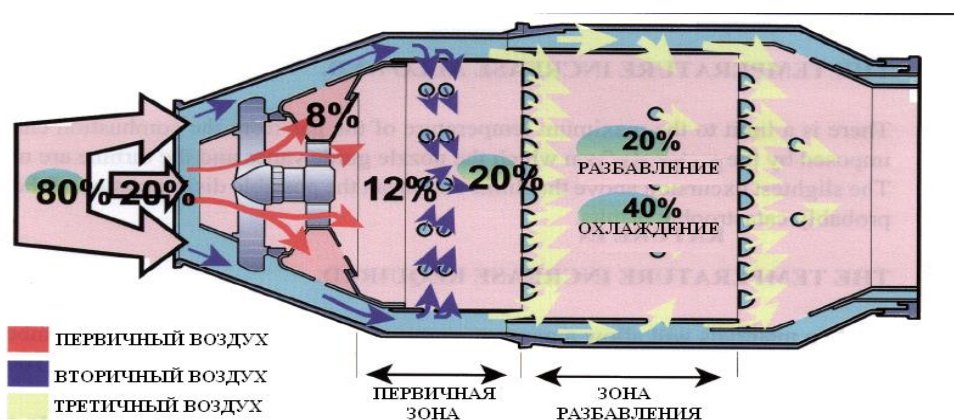
Камера сгорания (КС) – это устройство в составе ГТУ, предназначенное для сжигания жидкого или газообразного топлива и повышения энергии рабочего тела с целью использования ее в проточной части турбины. Её конструкция зависит от условий работы и состоит из жаропрочных материалов [1].

Впервые создание КС было зафиксировано в 1791 году в Англии. С развитием научно-технического прогресса принципиальная схема камеры не раз менялась и модернизировалась. В результате чего появилось много видов компоновки и устройства КС. На сегодняшний момент их можно классифицировать по движению рабочего тела, по компоновке, по конструктивным особенностям жаровой трубы и корпуса. Но независимо от вида конструкция любой КС всегда состоит из следующих главных частей: жаровая труба, диффузор, корпус, топливная форсунка [2].

Соответствуя развитию науки, к КС начали выдвигаться различные требования, важнейшими из которых стали: поднятие температуры на выходе; повышение полноты сгорания топлива в различных режимах; минимизация потерь полного давления; уменьшение габаритов; оптимизация параметров пуска и останова; увеличение ресурса и повышение надежности камеры, понижение эксплуатационных расходов и стоимости производства; снижение токсичности продуктов сгорания [3].

В последнее время наблюдается склонность к непрерывному повышению температуры газа перед турбиной и степени повышения давления в компрессоре. В середине прошлого века  $\Pi_k \sim 12$ , на данный момент конструируются двигатели с  $\Pi_k \sim 45$ . Кроме этого возрос и показатель температуры за камерой до 1600–1700 °К. За это время размер КС уменьшился в несколько раз, что привело к значительному повышению теплонапряженности стенок камеры. По этой причине появилась проблема повышения термостойкости металлов, которая решается использованием теплоизоляционных покрытий, получаемых с помощью плазменного напыления керамических порошков. Они наносятся на промежуточные связывающие слои, увеличивающие прочность сцепления между керамикой и металлической подложкой [2].

Для обеспечения бесперебойного процесса сгорания на любых режимах работы ГТУ в первичную зону подаётся только часть воздуха, около 20 %, остальные же 80 % – в зону разбавления и охлаждения (см. рисунок). Непрерывное сгорание топливно-воздушной смеси (ТВС) может протекать лишь в случае, когда скорость потока воздуха за диффузором находится в определённых значениях.



Разделение КС на зоны

Одним из методов для избавления от данной проблемы является усовершенствование компоновки жаровых труб с помощью размещения дополнительных устройств, предназначенных для замедления потока и наиболее приемлемого и экономного режима сгорания. С помощью данного конструктивного нововведения и современных жаропрочных материалов объём воздуха, направляемый на снижение температуры стенок и в зону разбавления, удастся минимизировать, увеличив таким образом экономичность двигателя [4].

Ещё один важный аспект занимает минимизация выброса вредных веществ в атмосферу Земли. Особенно это стало важно в последнее десятилетие, в связи с быстрым ухудшением экологической обстановки. Избавиться от этой проблемы можно при достижении: максимально возможной скорости сгорания; температуры в зонах горения 800... 1400 °С; наилучшего распределения вторичного воздуха; оптимального состава ТВС в смесительных устройствах. Среди подобных схем КС можно выделить: двухзонные и многофорсуночные [1].

Также в последнее время активно идут работы по совершенствованию ТВС и интенсивности сгорания, что в свою очередь способствует повышению экономичности и минимизации выбросов вредных веществ. Для этого используются различные присадки, снижающих концентрацию частиц углерода [2].

Другим экспериментальным способом повышения КПД КС является электромагнитное воздействие на углеводородные виды топлива. При этом методе топливо с определенной скоростью подвергают электрофизическому воздействию, повышая тем самым энергозапас топлива [3].

### **Источники**

1. Mendeleev D.I., Maryin G.E., Akhmetshin A.R. Improving the efficiency of combined-cycle plant by cooling incoming air using absorption refrigerating machine // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 643. Article number 012099. DOI 10.1088/1757-899X/643/1/012099.

2. Mendeleev D. I., Galitskii Y.Y., Marin G.E., Akhmetshin A.R. Study of the work and efficiency improvement of combined-cycle gas turbine plants // E3S Web of Conferences. 2019. vol. 124. article number 05061. DOI 10.1051/e3sconf/201912405061.

3. Mendeleev D.I., Marin G.E., Akhmetshin A.R. The Implementation and Use of Gas Turbines with Absorption Refrigerating Machine in the Technological Schemes of Thermal Power Plants // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). 2019. articlenumber 8934431. DOI 10.1109/FarEastCon.2019.8934431.

4. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Ахметшин А.Р. Показатели режимных характеристик парогазового энергоблока ПГУ-110 МВт на частичных нагрузках // Вестник КГЭУ. 2019.Т. 11. № 3(43).С. 47-56.

## ГИБРИДНАЯ ДИЗЕЛЬ-СОЛНЕЧНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

Д.Е. Зиганшина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ziganshina.daianna@yandex.ru

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Н.И. Москаленко

Целью работы является фактическое подтверждение эффективности работы дизельных систем с учётом одного из альтернативных источников энергии, а именно солнца. В статье рассматривается принцип работы дизель-солнечных электростанций, подчёркнута их актуальность, выведены преимущества, а также недостатки. Упоминаются актуальные проблемы энергетики и их решение с участием гибридных систем.

**Ключевые слова:** дизель-солнечная электростанция, фотоэлектрические системы, дизель-генераторные установки, солнечная активность, электроэнергия, комбинированные электростанции.

Вопрос долговременного энергоснабжения удалённых населённых пунктов не теряет своей значимости во многих странах мира, в России в том числе: в некоторых регионах замечаются частые отключения электроэнергии или неустойчивые выходные параметры по напряжению и частоте. В связи с этим промышленные производители энергии обеспечивают электропитание именно с помощью дизель-генераторных установок, которые часто служат дополнительным источником энергии при отключении электросети [1], выбор которых нужно проводить с экономической оправданной мощностью учитывающие фактические нагрузки [2]. В настоящее время в мировой энергетике все больше внимания уделяется преобразованию солнечного света в электричество с помощью фотоэлектрических установок [3]. На ряду с этим современные комбинированные солнечные электростанции начали успешно входить в число применяемых в качестве автономных источников энергии.

Интеграция фотоэлектрических и генераторных систем, принцип работы которых фундаментален на традиционном топливе, имеет огромный потенциал, так как энергия солнца, поступающая к потребителям в большом объёме, является общедоступной и возобновляемой. Также она может эффективно применяться в качестве дополнительного, второго, источника энергии, с учетом реальных электрических нагрузок жилых комплексов [4].

Ввиду схемы экономии топлива электростанция даёт возможность произвести дополнительную электрическую энергию и снять напряжение на генераторные установки. Такой путь позволяет в год сэкономить до 450 000 л дизельного топлива и значительно сократить выбросы CO<sub>2</sub> [1].

Солнечная электростанция совершенствует дизель-генераторные установки: она способна снабдить дополнительной энергией при высоких нагрузках или для минимизации расхода топлива – то есть разгружать генераторную установку. В свою очередь, избыток энергии может содержаться в аккумуляторных батареях, что позволяет системе утилизировать больше накопленной солнечной энергии даже в тёмное время суток. Стоит отметить, что интеллектуальное управление разнообразными элементами системы гарантирует оптимальную экономию топлива и сводит к минимуму выбросы углекислого газа. Вместе с этим расходы на эксплуатацию этих систем в сравнении малы.

Дизель-генераторные системы часто обеспечивают электроэнергией промышленные предприятия, удаленных от централизованных сетей регионы. Они формируют местную энергосеть, обеспечивая постоянный источник питания для всех подключенных потребителей. Так как дизель-генераторные установки требуют неизменного снабжения топливом, расходы на эксплуатацию на них чаще всего самые высокие. Дизель-генераторные установки могут являться дополнительным источником энергии при отключении всей электрической сети. Такое может произойти в регионах с нестабильными выходными параметрами или частыми отключениями электрической энергии [1].

Данная технология в сочетании с дизельными аппаратами максимизирует использование солнечной энергии: в свою очередь, смешанные дизель-солнечные системы, как и фотоэлектрические, могут также достаточно быстро окупиться, особенно в регионах с преобладающим фактором солнечного света с ограниченным доступом или без доступа к централизованным энергетическим сетям. Её получение на станциях данного типа более актуально для таких отраслей, как сельскохозяйственная и горнодобывающая промышленности, переработка сырья, туристические объекты с высоким спросом на электроэнергию и ограниченным доступом к городским сетям, готовность к использованию, надежность, доступность являются фундаментальными.

Внедрение солнечной генерации в системы электроснабжения на бензо- и дизель-генераторах является простым и актуальным решением, где ключевым вопросом стоит максимизация доли энергии, полученной от солнца. В случае альтернативы, для экономии дизельного топлива, дизель-генератор должен быть заменён другим источником энергии. Солнечная энергия является общедоступной и недорогой и прекрасно подходит в качестве второго источника в подобных системах. Однако, подбор мощности солнечной электростанции, объединённой в дизельную систему генерации, является ключевым.

Одним из недостатков энергоснабжения является неуправляемая подача солнечной энергии в сеть дизель-генераторов, которая может привести к снижению нагрузки на генераторы до минимально-критического уровня в периоды апогея солнечной активности, что может привести, в свою очередь, к появлению неэффективности дизельных генераторных установок, учащённости промышленного обслуживания и повреждению самого оборудования, не подлежащему в процессе к эксплуатации.

Рассмотрев перечень преимуществ и малую долю недостатков, хочется констатировать, что данная система энергоснабжения, несомненно, подходит для отдаленных регионов России, а именно: для электрификации мощных индустриальных секторов или поселений. А идеальным решением будет решение об интеграции в дизель-генераторные установки солнечной электростанции, что сведёт к минимуму влияние на окружающую среду, приведёт к увеличению производимой энергии, экономии топлива и ресурса дизельного генератора, а также к постоянному электроснабжению без перебоев.

### **Источники**

1. Гибридная дизель-солнечная электростанция [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://weswen.ru/news/hybrid-diesel-solar-power-plant/> (дата обращения 01.03.2022).

2. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Галицкий Ю.Я. [и др.] Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71. DOI 10.24160/0013-5380-2021-6-62-71.

3. Воркунов О.В., Галиев А.А. Перспективы практического применения солнечных электроэнергетических систем в Казани // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2015. №1-2. С. 57-60.

4. Солуянов Ю.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Энергоресурсосберегающий эффект в системах электроснабжения жилых комплексов от актуализации нормативов электрических нагрузок // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 1. С. 156-166.

## МИНИ-ТЭЦ

И.В. Зозуля<sup>1</sup>, Р.А. Абрамов, Р.Р. Сафиуллин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>zozulya.ilya@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Р. Ахметшин

Рассматриваются основные принципы работы мини ТЭЦ и их классификация по виду топлива, базе для выработки энергии.

**Ключевые слова:** мини ТЭЦ, малая генерация, когенерация, тригенерация.

Малая генерация является одной из наиболее обсуждаемых тем в энергетике. В научных кругах остро стоит вопрос нахождения подходящего вида малой генерации. Данная проблема является актуальной, так как ее решение позволит исключить потери при передаче энергии и обеспечит бесперебойное снабжение электрической и тепловой энергией потребителя. Внедрение мини ТЭЦ означает более выгодные тарифы, с экономической точки зрения, для потребителя, также исключает затраты на строительство дорогостоящих ЛЭП. Кроме того, тепловую энергию, получаемую при работе мини ТЭЦ, можно направить на производство холода, для бытовых нужд человека, при помощи абсорбционной холодильной машины (АХМ). Таким образом, в будущем мини ТЭЦ имеют большой потенциал развития в электроэнергетике.

Принцип работы мини ТЭЦ основан на трех понятиях: когенерации, малой генерации и тригенерации. В первую очередь рассмотрим термин малой генерации [1].

Малая генерация – это ряд электростанций имеющие мощность до 25 МВт, вырабатывающие электро- и теплоэнергию автономно, то есть децентрализованно, вдобавок малая генерация рассматривается как действенное средство обеспечения прочности и живучести имеющихся в данный момент энергосистем, обеспечение энергобезопасности, путем снятия нагрузки с перегруженных отделов энергосистемы.

В свою очередь когенерация – это процесс синхронной выработки электрической и тепловой энергии на теплоэлектроцентралях, ключевым различием когенерации и теплофикации является факт того, что при прямой выработке электрической энергии создаётся возможность утилизировать попутное тепло, то есть утилизация тепла после получения электроэнергии [2, 3].



Также в сфере мини ТЭЦ фигурирует такой термин как тригенерация – совместная выработка не только электрической и тепловой энергии, но и холода с помощью тепла, поступающего в абсорбционную холодильную машину.

Мини ТЭЦ делят на газотурбинные, паротурбинные и работающие на базе ДВС.

В газопоршневых мини ТЭЦ применяются двигатели внутреннего сгорания (ДВС) для привода электрогенератора. В наиболее частых вариантах это – дизельные моторы, которые обычно используются на автономных электростанциях в районах, где отсутствует централизованное энергоснабжение, а также в качестве запасных или аварийных источников электрической энергии. Помимо дизельных, в качестве основы для мини ТЭЦ применяют газовые и газодизельные ДВС. В газовом режиме газодизели функционируют на смеси газа и дизельного топлива (до 10%). С точки зрения капитальных затрат отдают предпочтение дизельным мини ТЭЦ из-за их дешевизны. Однако из-за высоких цен на дизельное топливо, большого расхода масла, больших затрат на обслуживание себестоимость вырабатываемой ими электроэнергии в несколько раз выше, чем у газотурбинных установок. Классификация мини ТЭЦ на базе газопоршневых установок обычно выполняется по виду топлива, используемого в исходной установке. В настоящее время существуют мини ТЭЦ на природном газе, дизельном топливе, биогазе, биодизельном топливе, также внедрение в энергетику биотоплива позволит сократить экологический вред окружающему миру, в частности людям. С экономической точки зрения такое топливо также имеет ряд достоинств, так оно является продуктом переработки и в конечном виде значительно дешевле дизельного топлива. Поэтому можно сказать, что использование биогаза и биодизеля, вместо традиционных видов горючего, целесообразно. Однако для работы ДВС на данном виде топлива требуется модернизация его топливной системы.

В паротурбинных мини ТЭЦ топливо применяется для нагрева питательной воды до состояния перегретого пара, тот в свою очередь приводит во вращение лопатки паровой турбины, находящейся на одном валу с электрогенератором, который производит окончательный продукт – электроэнергию. В таких ТЭЦ могут использовать иные виды топлива (уголь, древесина, торф, нефть, мазут и т.д.), помимо газообразного.

Газотурбинные мини ТЭЦ функционируют на принципе работы полноразмерных ГТУ. Воздух из атмосферы нагнетается в компрессор, сжимается в нем и под высоким давлением подается в камеру сгорания, куда одновременно с воздухом подается горючее посредством форсунок, в результате взаимодействия эта газовая смесь воспламеняется, продукты горения попадают на лопатки газовой турбины, придавая им вращение, и в свою очередь вращая вал электрогенератора, вырабатывающего электроэнергию. В таких ТЭЦ применяются следующие виды топлива: природный газ магистральный, природный газ сжиженный, попутный нефтяной газ и другие горючие газы [4]. На сегодняшний момент необходимо исследование и расчет таких установок на более доступном топливе, так как потребность в мини ТЭЦ присутствует в различных краях Российской Федерации. Поэтому следует обеспечить максимально возможную автономность мини ТЭЦ, которая сможет позволить ей осуществлять выработку электрической и тепловой энергии в местах, не имеющих доступ к централизованной поставке традиционного топлива.

#### **Источники**

1. Соловьев И.С., Валиев Р.И., Нугманов Д.Ф., Титов А.В., Маслов И.Н. Применение мобильных мини-ТЭЦ с ГТУ как важный фактор освоения труднодоступных территорий России // Матер. IV Всерос. нац. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х ч. 2021. С. 172-175.
2. Осипов Б.М., Титов А.В., Жуков В.К., Тимиргалеев Ш.Р. Разработка газотурбинной стационарной установки мощностью 4 МВт для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии // Газотурбинные технологии. 2019. № 2 (161). С. 40-41.
3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Халтурин В.А. Энергосберегающие решения в распределительных электрических сетях на основе анализа их фактических нагрузок // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № 5 (62). С. 68-73.
4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М. Критерии выбора составов топлив при их сжигании в газотурбинных установках с незначительными переделками топливной системы // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. № 2 (151). С. 356-365.

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЭС

З.Р. Ибрагимова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
zilko2002@list.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Н. Маслов

В статье рассматриваются экологические аспекты деятельности ТЭС. Выделение золы, оксида азота, газообразных продуктов неполного сгорания происходит из-за сжигания топлива на ТЭС. Продукты сгорания мазута включают в себя соединения ванадия, углекислоту, сажевые частицы. В золе некоторых видов топлива содержатся мышьяк, кальций, кремний.

**Ключевые слова:** тепловая энергетика, окружающая среда, экологические аспекты, ТЭС.

Тепловая энергетика является важнейшей отраслью в современном мире. Значительная часть электроэнергии производится на ТЭС. Но вместе с тем тепловая энергетика наносит существенный вред природной среде. Генерация электроэнергии на ТЭС производится за счёт сжигания угля, горючего сланца, торфа, бензина и природного газа, что приводит к огромным выбросам в окрестностях станции [1].

Выделение золы, оксида азота и других газообразных продуктов происходит из-за сжигания горючего на электростанции. Одни продукты сгорания включают в себя соединения ванадия, углекислоту, сажевые частицы. В золе других содержатся мышьяк, кальций, кремний. Следствием попадания в атмосферу данных веществ являются кислотные дожди и усиление парниковых эффектов. Это, безусловно, отрицательно влияет на экологическую обстановку [2, 3].

Использование ТЭС связано с применением значительного количества воды. Основная часть воды используется в системах охлаждения, другая часть – для функционирования систем гидрозолоудаления, химводоочистки, охлаждения и промывки оборудования. Как правило, вода для охлаждения берется из определенного водоёма. После данного процесса температура воды поднимается на 8–10 °С. В результате, происходит тепловое загрязнение, а именно вымирание флоры и фауны водоёма. С появлением градирен ситуация стала лучше, но не на много. Из-за большого количества влаги, выделяющегося из них, появляются туманы, морозящие дожди.

Твердые отходы, оставляемые ТЭС ежегодно в виде золы и шлаков, негативно влияют на почвенный покров [4, 5]. Отходы почти никак не утилизируют, а только складировывают в специально отведенных местах. По итогу, появляются очаги захоронения токсичных веществ таких как тяжёлые металлы, оксиды кремния и алюминия. Твердые частицы, выделяемые при сжигании топлива, оседают на почве, из-за чего происходит загрязнение почвенного покрова.

Также одним из экологических аспектов деятельности ТЭС является шум от объектов. С ростом мощности энергетических установок растет и акустическое воздействие от ТЭС. Всё это приносит больше вреда людям, живущим рядом с тепловыми электростанциями.

Таким образом, влияние ТЭС на окружающую среду велико. В последние годы, выбросы уменьшились, но проблема загрязнения от тепловых электростанций остаётся насущной. Возможно, через несколько десятков лет создадут безотходные ТЭС, которые не будут негативно влиять на природу. Но сейчас нам остается только анализировать текущую обстановку и стараться минимизировать этот вред.

### **Источники**

1. Носков А.С., Савинкина М.А., Анищенко Л.Я. Воздействие ТЭС на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба. Новосибирск. Изд. ГПНТБ, 2005. С. 8–22.

2. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Ахметшин А.Р. Показатели режимных характеристик парогазового энергоблока ПГУ-110 МВт на частичных нагрузках // Вестник КГЭУ. 2019. Т. 11. № 3(43). С. 47-56.

3. Прокопеня И.Н. Экология теплоэнергетических систем. Минск, 2020. С. 13-16.

4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-92.

5. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Галицкий Ю.Я., Ахметшин А.Р. Исследование влияния условий эксплуатации на эффективность использования абсорбционно-холодильной машины в цикле газотурбинных и парогазовых установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. № 4(153). С. 821-831.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИНИ-ТЭЦ

Д.В. Иванов<sup>1</sup>, Д.Р. Бадертдинова<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>2</sup>badertdinova25.2003@mail.ru

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Н.И. Москаленко

Мини-ТЭЦ в энергетике является перспективным направлением. В статье рассматриваются преимущества и отрицательные стороны использования данных электрических станций.

**Ключевые слова:** мини-ТЭЦ, топливо, энергетика, двигатель.

При развитии всемирной и российской энергетики необходимо учитывать не только экономические, но и экологические последствия возможного влияния объектов энергетики при их строительстве и эксплуатации. Мини-ТЭЦ (далее МТЭЦ) является устройством, которая позволяет использовать электроэнергию экономично и экологично [1, 2].

МТЭЦ (мини-теплоэлектроцентраль) сочетает в себе следующие технологии: когенерацию и малую энергетику. Принцип действия первой заключается в максимально возможном использовании энергии первичного топлива с помощью одновременного производства тепловой и электрической энергии (КПД равняется 80–95 %). Роль первичного двигателя в описанных установках выполняют газовые турбины, поршневые двигатели, паровые турбины и прочие. Сущностью малой энергетики является производство энергии на месте, где она потребляется. Значит, можно сделать вывод, что МТЭЦ – энергоустройство, целью которого является комбинированная выработка тепла и электричества для дальнейшего её потребления.

Механизм работы МТЭЦ – сжигание топлива, вследствие чего происходит нагрев корпуса двигателя. Двигатель внутреннего сгорания, соединенный с ротором альтернатора, вращает вал, который производит электрический ток. Вся тепловая энергия, утилизирующаяся теплообменниками, уходит на нагрев воды.

Энергоблоки МТЭЦ работают сутками в течение всего года, при условии постоянного поступления топлива. Минимальная мощность энергоблоков, работающих при помощи когенерационных технологий – 25–30 кВт, максимальная может достигать нескольких мегаватт.

Преимущества использования МТЭЦ состоят в том, что современные электростанции могут работать на любом виде топлива, а также когенерация, при использовании первичного топлива в два-три раза эффективней традиционной энергетики, так как снижает выбросы загрязняющих веществ [3, 4].

Главный недостаток МТЭЦ зависит от пользовательского энергопотребления. Во время эксплуатации малой теплоцентрали при полной нагрузке, она окупается в максимально короткий срок, составляющий от 3-х до 5-ти лет, если работа проходит на низкой нагрузке, то окупаемость может составить десятилетия. Эффективность работы электроустановок напрямую связана с равномерностью распределения нагрузок.

Малая энергетика в России по-прежнему остается недооцененной в развитии энергетической системы.

МТЭЦ входят в число тех, кто оказывает наибольшее влияние на окружающую среду. Во время выбора источника энергии важно учитывать различные последствия (экономические, экологические) воздействия объектов энергетики во время строительства и эксплуатации [5]. Ввод МТЭЦ в эксплуатацию является основой новой тенденции к развитию наиболее экономически эффективной и экологической отрасли Топливо-энергетический комплекс.

Важно определиться с функциями, которые будет выполнять МТЭЦ, учитывать необходимость дополнительного оборудования, в состав которого входит средства управления оборудованием и монтажные узлы.

Таким образом, МТЭЦ решает не только экономическую проблему, но и экологическую. При уделении достаточного внимания государства к улучшению развития МТЭЦ, можно достичь больших результатов в области энергетики. МТЭЦ может обеспечить теплом и электричеством, несмотря на незначительное отрицательное влияние на окружающую среду.

### **Источники**

1. Леоновец С.В. Мини-ТЭЦ // «Новости теплоснабжения». 2012. №10 (146).

2. Mendeleev D.I., Maryin G.E., Akhmetshin A.R. Improving the efficiency of combined-cycle plant by cooling incoming air using absorption refrigerating machine // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. vol. 643. article number 012099. DOI 10.1088/1757-899X/643/1/012099.

3. Mendeleev D. I., Galitskii Y.Y., Marin G.E., Akhmetshin A.R. Study of the work and efficiency improvement of combined-cycle gas turbine plants // E3S Web of Conferences. 2019. vol. 124. article number 05061. DOI 10.1051/e3sconf/201912405061.

4. Mendeleev D.I., Marin G.E., Akhmetshin A.R. The Implementation and Use of Gas Turbines with Absorption Refrigerating Machine in the Technological Schemes of Thermal Power Plants // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). 2019. articlenumber 8934431. DOI 10.1109/FarEastCon.2019.8934431.

5. Marin G.E., Mendeleev D.I., Akhmetshin A.R. Analysis of Changes in the Thermophysical Parameters of the Gas Turbine Unit Working Fluid Depending on the Fuel Gas Composition // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019. article number 8934021. DOI 10.1109/FarEastCon.2019.8934021.

УДК 621.311.212

## ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ИХ ПОПУЛЯРНОСТЬ В РФ

Т.Д. Иванов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

timurka.ivanov.2002@list.ru

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Е.Г. Шешуков

В данной работе рассмотрены особенности, преимущества и недостатки геотермальных электрических станций. Показан принцип работы геотермальной энергетики и оценена перспективность использования геотермальных источников энергии.

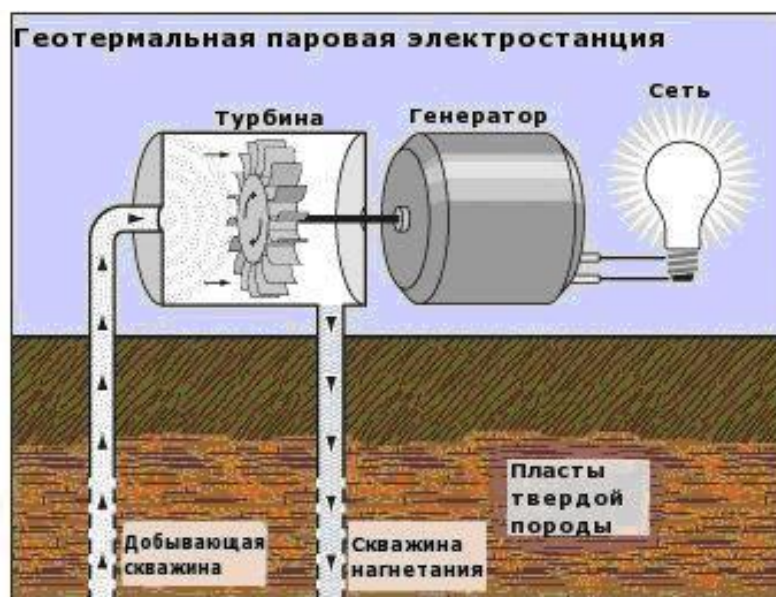
**Ключевые слова:** геотермальные электрические станции, геотермальная энергия, возобновляемые источники энергии, паровая турбина.

Люди с давних пор для получения энергии используют традиционные источники энергии: уголь, газ, нефть. Но нужно понимать, что данные источники не бесконечны, а потребность человечества в энергии постоянна. Поэтому человечеству предстояло найти альтернативные источники энергии, которые были выгодны, как в экономических, так и в экологических планах [1].

Поэтому в середине XX века в России стали использоваться возобновляемые источники энергии. Ярким примером являются геотермальные источники. Главная особенность этого источника – тепловая энергия получается путем применения тепла из водоемов и недр земли. Обеспечение электрической и тепловой энергией сопряжено с определением их фактических потребностей [2–4].

Стоит рассмотреть принцип работы геотермальной системы. Самым распространенным является прямой метод. Он основан на превращении пара из воды, который с помощью скважин направляется в паровую турбину. Турбина под действием пара вращается и приводит в действие генератор, который в итоге вырабатывает электрическую энергию (см. рисунок).

С использованием данного метода осуществляется работа самой крупной геотермальной электростанции в мире. Она находится в Северной Калифорнии и называется «Гейзерс». Эта станция содержит в себе 22 объекта, ее установленная мощность 1500 МВт. США является лидером по геотермальной выработке [1, 5].



Принцип работы геотермальной паровой электростанции

В Российской Федерации развитие геотермальной энергетики происходит постепенно. На территории нашей страны уже действуют четыре электрические станции: Мутновская, Паужетская, Верхне-Мутновская и Менделеевская. Суммарная мощность этих геотермальных станций на 2020 г. составляет всего 74 МВт.



Среди преимуществ геотермальной системы можно выделить следующие:

- помимо электрической энергии, которая дает геотермальная электрическая станция, она может быть полезна для ближайшего населенного пункта. Она способна нагревать теплицы. С помощью данных станций возможно эффективное разведение рыб;

- работа геотермальной электрической станции может обеспечивать постоянное энергоснабжение, которое не зависит от внешних условий и времени года;

- геотермальная энергия не истощима, ведь до 70 % теплопотерь земли восстанавливаются;

- экономическая эффективность превосходит традиционные виды получения энергии.

Несмотря на ряд преимуществ у данного вида энергетики, присутствуют также недостатки.

- рентабельность. Самым затратным в этом деле является бурение и оснащение скважин. Для работы данной системы нужно, чтобы температура подземных вод была достаточно высокой (150–200 °С);

- неосторожное использование скважин может привести к землетрясениям. Поэтому при строительстве такой системы необходимо производить геологоразведку строго научным, обоснованным методом;

- также есть географические ограничения, ведь целесообразно строить такие станции там, где присутствует высокая геотермальная активность;

- экологическая проблема. Потребляется большое количество пресной воды, а также происходит избыточный выброс тепла в атмосферу [5].

Перспективы развития геотермальной энергетики велики. По официальной статистике, с 2007–2018 гг. мощность выработанной энергии увеличилась на 4,7 ГВт энергии. Раскрыть потенциал данного вида энергетики нам только предстоит, ведь каждый год возрастает важность поддержания экологических показателей, а, в свою очередь, современные геотермальные электростанции имеют умеренный уровень выбросов, в отличие от производств, которые используют ископаемое топливо и загрязняют окружающую среду намного сильнее.

### Источники

1. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Галицкий Ю.Я. [и др.] Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71.

2. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и др.] Актуализация расчетных электрических нагрузок с последующим практическим применением на примере Республики Татарстан // Промышленная энергетика. 2021. № 2. С. 32-40.

3. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Ахметшин А.Р. Показатели режимных характеристик парогазового энергоблока ПГУ-110 МВт на частичных нагрузках // Вестник КГЭУ. 2019. Т. 11. № 3(43). С. 47-56.

4. Геотермальные электростанции: за и против [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://avenston.com/ru/articles/geothermal-pp-pros-cons/> (дата обращения 03.03.22).

5. Геотермальная энергетика: как тепло Земли превратили в эффективный энергоресурс [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/toshibarus/blog/442632/> (дата обращения 05.03.22).

УДК 621.41

## РАБОТА ЭНЕРГОБЛОКА НК-16-18СТ В ПИКОВЫЕ ЧАСЫ С ДОБАВЛЕНИЕМ ВОДОРОДА

А.В. Ишалин<sup>1</sup>, Ю.В. Сопина<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>АО «ТАТЭНЕРГО» филиал Казанская ТЭЦ-1, г. Казань

<sup>1</sup>aiv1999@yandex.ru, <sup>2</sup>julia.sjv97@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.В. Титов

В статье рассмотрена модель газовой турбины НК-16-18ст с добавлением водородно-кислородного парового генератора, необходимость и полезные свойства данного внедрения. Определено необходимое количество водородного топлива для эффективной работы и методы его производства.

**Ключевые слова:** ГТУ, НК-16-18ст, водород, природный газ, электроэнергия, топливо, турбина.

Проблема экологии и максимизации эффективности выработки электроэнергии на сегодняшний день очень важны и актуальны. Одним из решений этих проблем может стать возобновляемые технологии, в том числе водород. Возобновляемая энергетика с каждым годом становится все более распространена, в изолированных районах позволяет заменить традиционную энергетику. Цена производства «зеленого» водорода на ТЭС с ПГУ в Татарстане с использованием системы электролиза становится ниже, с развитием водородных технологий [3]. Так водород способен помимо увеличения энергетических показателей, снизить количество выбросов в окружающую среду [1].

В данной публикации предлагается рассмотреть работу турбины НК-16-18ст в пиковые часы. В качестве топлива рассматривается водород так как он один из самых экологически чистых химических веществ, которые могут быть использованы в качестве топливного газа для энергетического оборудования [4]. Применение водорода в качестве топлива для газовых турбин позволяет сократить не только расходы на топливоподготовку, но и минимизировать выбросы [2]. В качестве рассматриваемой схемы предложено применение ВКПГ.

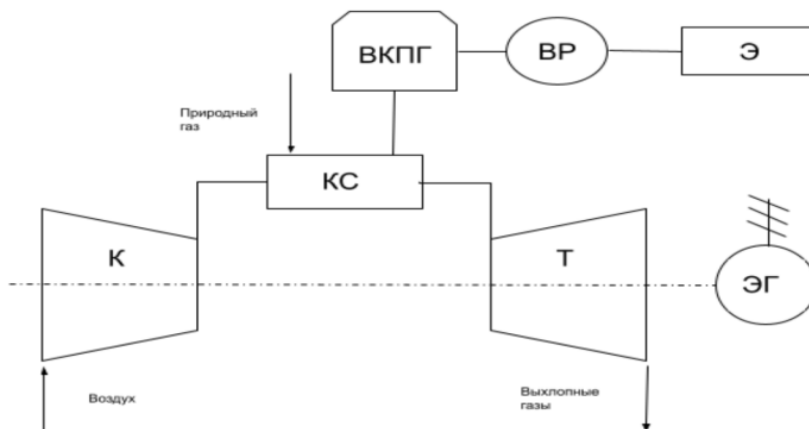


Рис. 1. Схема НК-16-18ст с ВКПГ

На рис. 1 представлена схема предлагаемой установки, где К-конденсатор, КС-камера сгорания, Т-турбина, ЭГ-электрический генератор, ВКПГ-водородно-кислородный паровой генератор, ВР-водородный резервуар, Э-электролизер. Принципиальное отличие, которым является наличие ВКПГ, водородного резервуара и электролизера. Предполагается, что электролизер может производить водород в ночное время суток, когда нагрузка на оборудование снижена, при этом падает эффективный КПД турбины. Рассматриваемый способ позволит производить голубой водород.

На рис. 2 представлен переменный режим работы установки в течение суток. Пиковые, полупиковые часы в течение дня будут длиться суммарно около 4 часов, при расходе топливного газа 6500 м<sup>3</sup>/ч в сутки необходимо будет сжечь около 3500 м<sup>3</sup> водорода.

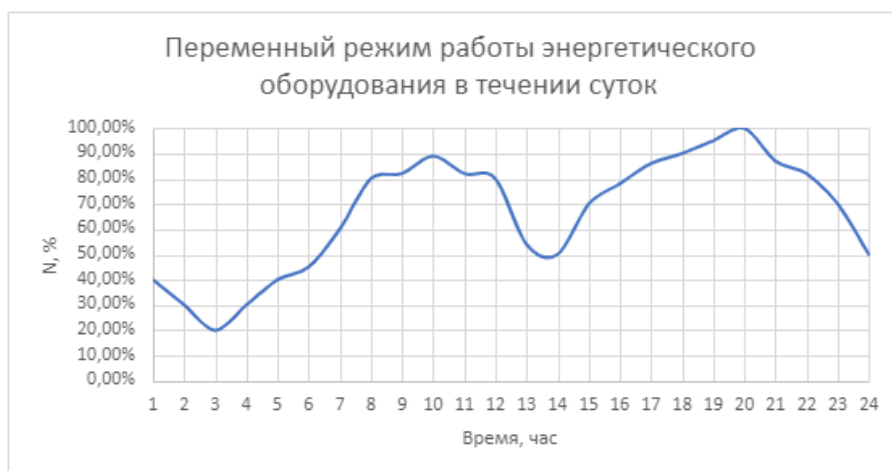


Рис. 2. Переменный режим работы энергетического оборудования в течение суток

Такое количество применяемого водорода позволит не вносить изменения в конструкцию ГТУ. Для того чтобы обеспечить предприятие необходимым количеством водорода нужна установка, производящая 500 м<sup>3</sup>/ч водорода. Для производства такого количества водорода потребуется около 6 кВт электроэнергии на 1 м<sup>3</sup> водорода, то есть она будет затрачивать около 3 МВт/ч электроэнергии. Установка, производящая такой объем водорода, позволит ежедневно восполнять необходимое топливо. Этот объем производства хорош еще тем, что позволит во время ночной зоны тарифа на электроэнергию, произвести необходимое количество водорода, если в этом будет необходимость.

Ограничением такого метода повышения мощности может являться температура в камере сгорания, так как водород способен повысить ее до предела. Решением данной проблемы будет кратковременный впрыск воды или водяного пара в камеру сгорания. Это позволит снизить температуру, а также снизить количество выбросов NO<sub>x</sub>.

Применение такой установки позволит аккумулировать более дешевую ночную электроэнергию и использовать ее днем в пиковые часы.

## Источники

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Технико-экономическая оценка параметров тепловых схем ТЭС с водородным генератором // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. 23(2). С. 84-92.

2. Султанов М.М., Курьянова Е.В. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. 23(2). С. 46-55.

3. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Филимонов А.Г., Печенкин А.В. Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. 22(6). С. 79-91.

4. Марьин Г.Е., Сопина Ю.В. Перспективы применения водорода в энергетике // Межд. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. С. 4160-4163.

УДК 621.438

## УТИЛИЗАЦИЯ CO<sub>2</sub> ПРИ РАБОТЕ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ

И.Р. Казбакова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

iluzaru@gmail.com

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Г.Р. Мингалеева

Основная цель работы состоит в том, чтобы предложить метод, который позволит уменьшить выбросы газовой турбины и использовать их для производства полезных продуктов. Представлена схема, в которой происходит сбор дымовых газов и улавливания оттуда CO<sub>2</sub>. Проведенный расчет позволяет выявить общие объемы выбросов и долю, входящего в них, углекислого газа.

**Ключевые слова:** углекислый газ, утилизация, газовая турбина, выбросы, бикарбонат аммония.

Промышленные газовые турбины (ГТ) представляют собой двигатели, в которых используется непрерывный процесс сгорания.

Горение в ГТ способствует образованию парникового эффекта. В связи с этим особую актуальность приобретают исследования, направленные на разработку способов сокращения выбросов углекислого газа путем улавливания CO<sub>2</sub> из продуктов сгорания с последующей его утилизацией [1].

Схематичное изображение процесса улавливания CO<sub>2</sub> из выбросов газовой турбины представлено на рис. 1.

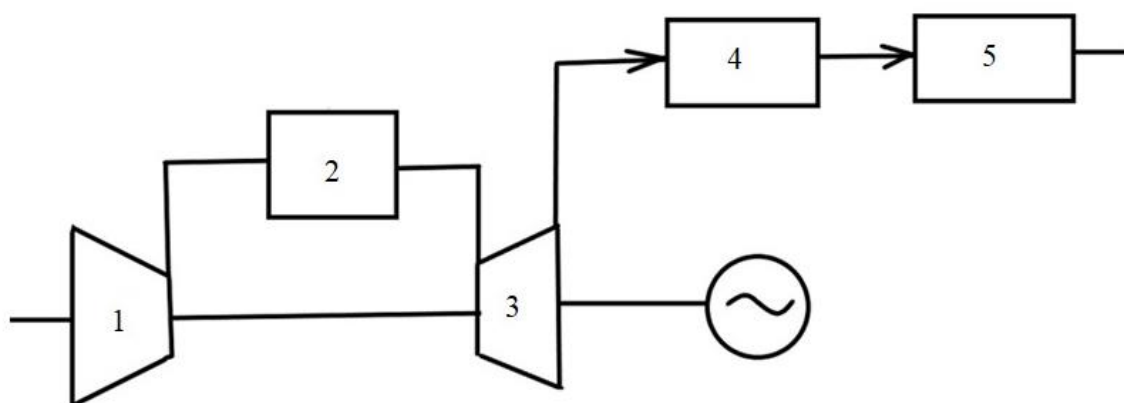


Рис. 1. Схема ГТУ с улавливанием CO<sub>2</sub>: 1 – компрессор, 2 – камера сгорания, 3 – турбина, 4 – устройство для сбора выбросов, 5 – устройство отбора CO<sub>2</sub>

Для предварительной оценки и выбора процесса утилизации CO<sub>2</sub> необходимо рассчитать объём общего выделившегося газа:

$$V_{\Gamma} = V_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2}^0 + V_{\text{H}_2\text{O}} + (\alpha - 1)V^0, \quad (1)$$

Чтобы высчитать массу находящегося в выбросах углекислого газа необходимо рассчитать его массовую долю:

$$r_{\text{RO}_2} = \frac{V_{\text{RO}_2}}{V_{\Gamma}}, \quad (2)$$

$$G_{\text{CO}_2} = G_{\Gamma} \cdot r_{\text{RO}_2}, \quad (3)$$

Узнав объёмы выбросов предприятия промышленности с содержанием углекислого газа 8–20 %, необходимо рассмотреть способы утилизации CO<sub>2</sub>.

Наиболее естественным способом является сочетание утилизации и захоронения CO<sub>2</sub> в виде минеральных удобрений или карбонатов, поскольку в этом случае замыкается углеродный цикл, и углерод, извлеченный из земных недр в составе топлива, вновь возвращается в исходную среду. Другие способы утилизации, хотя и могут принести некоторый экономический эффект, все же не решают экологическую проблему – CO<sub>2</sub>, отработав в одной из технологических операций, как правило, все же попадает в атмосферу [2].

Технологические схемы улавливания и утилизации  $\text{CO}_2$  состоят из основных блоков, представленных на рис. 2.

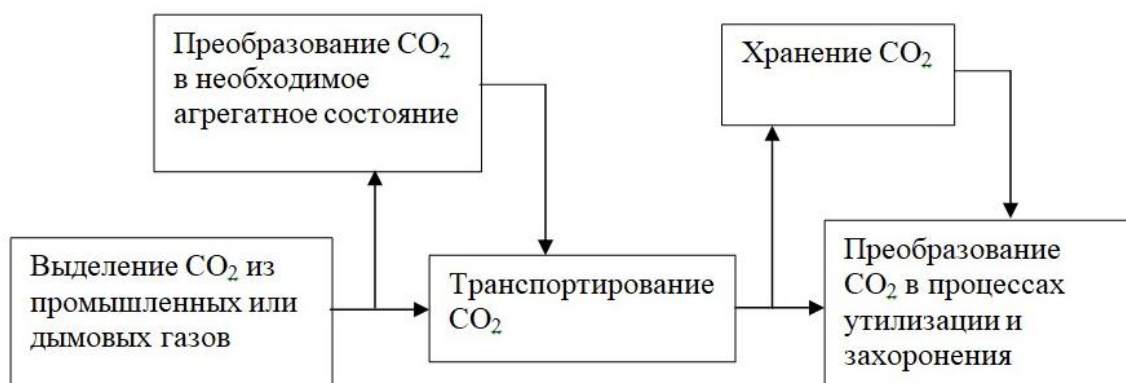


Рис. 2. Структура технологических схем выделения и утилизации  $\text{CO}_2$

Улавливания  $\text{CO}_2$  можно осуществить с использованием 2 колонн: абсорбционной колонны для разделения  $\text{CO}_2$  от других газообразных компонентов с использованием растворителя и регенерационной колонны для извлечения  $\text{CO}_2$ .

Промышленные процессы производства гидрокарбонатных аммиачных удобрений являются проверенной технологией и оптимизированы как технологически, так и экономически. Преобразование молекулярного  $\text{CO}_2$  в бикарбонаты или гидраты до или во время выброса  $\text{CO}_2$  приведет к уменьшению влияния pH [3]. Рассмотрим технологию улавливания  $\text{CO}_2$  на основе аммиака [4].

Полученные при горении топлива продукты сгорания, абсорбируются частично карбонизированным водным раствором аммиака в барботажной колонне с получением твердого бикарбоната аммония в качестве удобрения. Этот процесс позволяет произвести бикарбонат аммония путём низкого проскальзывания аммиака в замещенный газ, а после  $\text{CO}_2$  удаётся захватить.

Таким образом, следует отметить что существующая проблема с выбросами  $\text{CO}_2$  на промышленных предприятиях все еще является актуальной. Однако разработанная технология утилизации углекислого газа в качестве бикарбоната аммония позволяет сократить выбросы продуктов сгорания, получить пригодные для использования химические удобрения.

### Источники

1. Мингалеева Г.Р., Николаев А.Н., Афанасьева О.В., Вандышева С.С., Шамсутдинов Э.В. Анализ возможности утилизации и захоронения CO<sub>2</sub> в России // Экология и промышленность России. 2010. №2. С. 42-46.
2. Мингалеева Г.Р., Дмитриенко И.В., Здоров А.И., Николаев А.Н., Шамсутдинов Э.В., Афанасьева О.В. Технология получения бикарбоната аммония при утилизации выбросов углекислого газа цементной промышленности России и Украины // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5.
3. Берт Метц, Огунладе Дэвидсон, Хелен де Конинк, Мануэла Лоос, Лео Мейер. Улавливание и хранение двуокиси углерода // Резюме для лиц, определяющих политику и техническое резюме. Доклад рабочей группы III МГЭИК. 2005. С. 13.
4. Quan Zhuanga, Bruce Clementsa, Ying Li. From ammonium bicarbonate fertilizer production process to power plant CO<sub>2</sub> capture // International Journal of Greenhouse Gas Control. 2012. Vol. 10.

УДК 621:539

## МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКЕ

Р.А. Кашапов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ivanov.214@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Н. Маслов

Необходимость в визуальном представлении моделируемого объекта является одним из наиболее важных параметров в расчетах. В статье приведены этапы создания модели и основополагающие формулы для дальнейшей разработки конструкций, агрегатов, машин, а также их деталей.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, модель, объект, разработка, расчет.

Дисциплина «Прикладная механика» включает в себя основные аспекты, связанные с расчетом прочности изделия или конструкции, а также основные реакции тел на воздействия сил извне. Ее использование не ограничивается определенной сферой деятельности, поскольку необходимо производить качественную оценку всех объектов производства, конструкций и машин с учетом воспроизводимых на них внешних сил.



Как правило, применение основных принципов прикладной механики распространяется на всю область машиностроения в целом. Методики данной науки основаны на расчете основных элементов и деталей устройств, приборов и машин, с помощью которых обеспечивается их надежная работа. В основном, такие расчеты проводятся по определенным структурным формулам, характеризующим работу рассчитываемого объекта. Однако это не всегда помогает в обеспечении корректного восприятия ситуации в целом. Наиболее актуальным решением для анализа механики устройства и отдельных его составляющих является математическое моделирование объекта.

Обширное количество задач по механике требует инструмент по визуализации процесса работы той или иной конструкции. Для облегчения восприятия необходимой ситуации следует обратиться к методу конечного элемента, позволяющего составлять алгоритмы путем их воспроизведения на электронно-вычислительной машине.

Результаты подобных решений помогают проанализировать такие нюансы, которые не могли быть выявлены на этапе исследований с помощью упрощенных физических и математических расчетов. К примеру, многочисленные исследования по вихревой трубе, показали возможности течения жидкости как в одну, так и в другую сторону. С помощью метода моделирования в программе SolidWorks, путем расчета встроенным пакетом полноценных моделей, получилось наглядно увидеть обратный вихревой поток [1]. Впоследствии, эти течения снижают коэффициент полезного действия, приводят к разрушению отдельных элементов устройства и повышают уровень вибрационной нагрузки в агрегате. Увеличение возможностей научного анализа позволит уже на начальных этапах проектирования устройств и аппаратов, снизить риск аварийных ситуаций и поломок.

Для предотвращения возникновения подобных ситуаций следует использовать методы математического моделирования, который необходим для выявления конструктивных неточностей в проекте [2, 3].

Необходимо учитывать основные этапы ее создания, которые включают в себя следующие элементы: анализ существующего объекта и методов исследований, постановка задачи, разработка схемы расчета математической модели, анализ по решению модели, проведение численного, физического, натурального эксперимента, выполнение проверки решения, т.е. ее адекватности.

Рассмотрим следующие уравнения, которые включены в основу метода математического моделирования:

Уравнения статики:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + x = 0, \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + y = 0, \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + z = 0. \end{cases}$$

Уравнения связи относительных деформаций и перемещений:

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}; \gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}, \\ \varepsilon_y = \frac{\partial u}{\partial y}; \gamma_{xz} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial z}, \\ \varepsilon_z = \frac{\partial u}{\partial x}; \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}. \end{cases}$$

Соотношения относительных деформаций и напряжений:

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)]; \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}, \\ \varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu(\sigma_z + \sigma_x)]; \gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G}, \\ \varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)]; \gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx}}{G}. \end{cases}$$

Приведенные выше уравнения являются исходными в плане разработки математической модели [4].

На этапах численного, физического и натурного экспериментов, следует выполнять проверку адекватности математической модели. Как правило, ее производят экспериментальным путем с соблюдением параметров подобия или проведением расчетов методов конечного элемента. При усложнении моделей математического моделирования, следует учитывать, что могут возникнуть определенные сложности, связанные со значительными погрешностями и неточностями в действии объекта.

Таким образом, мы выяснили, что следует приводить проверку адекватности на всех этапах создания математического моделирования, а также выявили основополагающие формулы для визуализации агрегатов, конструкций и деталей машин. Следует учитывать, что для более точного результата необходимо обращаться как к правильности расчетов физико-математической модели, так и к логичному интерпретированию полученных наглядных результатов работы объекта.

### **Источники**

1. Ахмедьянова К.Т., Минибаев А.И. Деление двухфазных потоков в зоне вихревых эффектов // Тинчуринские чтения - 2020 «Энергетика и цифровая трансформация»: Матер. Межд. молод. науч. конф. В 3-х т. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. Т. 2. С. 6-8.

2. Седов Л.И. Механика сплошной среды. М.: Наука, 1970 с.

3. Ишлинский А.Ю. Математика и методы механики. В кн.: История отечественной математики. Т. 4, кн. 2. К.: Наукова думка, 1970.

4. Бугов А.У. Математическое моделирование задач механики технологий и средств механизации сельского хозяйства // Избранные труды Республ. науч. семинара «Механика». Выпуск 1. Нальчик. 2002. КБГСХА, С. 24-29.

УДК 621.438

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ 9НА.01. ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ НА КПД ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ**

Е.В. Клейн

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

zombee1997@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.В. Титов

В статье рассмотрены перспективы применения теплоты уходящих газов газотурбинной установки General Electric 9НА.01. Одним из основных направлений использования уходящих газов является подогрев рабочего тела перед камерой сгорания, для повышения КПД ГТУ. В программном комплексе АС ГРЭТ были созданы математические модели исходной турбины и турбины с модернизацией. Приведены сравнения показателей исходной турбины и модернизированной.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка, теплота, уходящие газы, повышение КПД, модернизация.

В основном газотурбинные установки создаются на базе авиационных двигателей предыдущего поколения, в связи с этим они обладают умеренными параметрами рабочего процесса, их эффективный КПД достаточно низок и составляет порядка 25–30 %, а температура уходящих газов велика. В таких случаях остро встаёт вопрос снижения потерь. Для этого требуется утилизировать теплоту, теряемую с уходящими газами в атмосферу. В настоящее время применяют следующие методы для повышения эффективности ГТУ: усложнение термодинамического цикла; форсирование параметров цикла; впрыск водяного пара или воды в проточную часть ГТУ.

Одним из наиболее эффективных способов является подогрев воздуха перед камерой сгорания, с помощью утилизации тепла выхлопных газов газовой турбины. Теплообмен происходит в теплообменнике, установленном после компрессора, за счёт теплоты уходящих газов [1]. Часть теплоты, которая раньше вместе с отработавшими продуктами сгорания выбрасывалась в атмосферу, теперь полезно используется на подогрев воздуха перед камерой сгорания. Это позволяет экономить топливо для нагрева топливовоздушной смеси. Однако данный способ может быть реализован только в том случае, когда температура воздуха после компрессора ниже, чем температура уходящих газов. Данная модернизация не изменяет внутренний относительный КПД цикла, но внутренний КПД установки увеличивается [2]. Намного реже теплоту уходящих газов используют для подогрева топлива, поступающего в камеру сгорания, т.к. это приводит к меньшему повешению КПД. Если ГТУ используется в парогазовой установке, то теплоту уходящих газов передают теплоносителю, не участвующему в цикле ГТУ, посредством использования водогрейных или паровых котлов, котлов-утилизаторов.

Для оценки эффективности модернизации был проведен расчёт турбины General Electric 9НА.01 в программном комплексе АС ГРЭТ. Частота 50 Гц; Температура газа за турбиной 633°C; Номинальная мощность 405,6 МВт; Расход газа на выходе из двигателя 826 кг/с; Температура газа за силовой турбиной 747К; КПД на валу силовой турбины 42 %. Функциональная схема ГТУ до и после модернизации изображена на рис. 1.

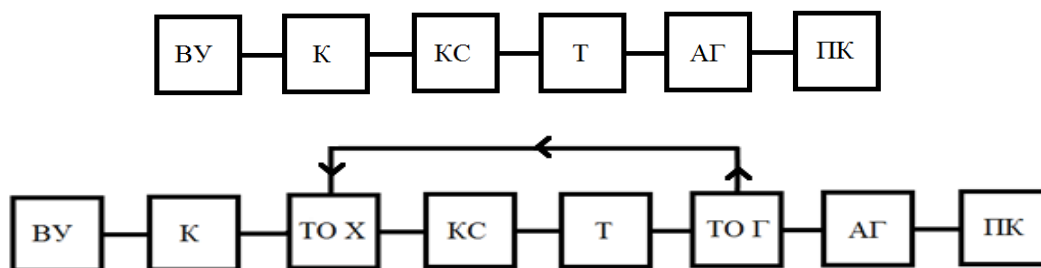


Рис. 1. Функциональная схема ГТУ 9НА.01 до и после модернизации:  
 ВУ – входное устройство, К – компрессор, КС – камера сгорания, Т – турбина, АГ – агрегаты, ПК – переходной канал (выходное устройство), ТО Х – холодная часть теплообменника, ТО Г – горячая часть теплообменника

В результате моделирования были получены основные характеристики ГТУ при работе в номинальном режиме (Режим №1) и характеристики модернизированной ГТУ при работе в номинальном режиме (Режим №2) представленные в таблице. Эффективный КПД считался по формуле:

$$C_1 = \frac{N_{em}}{C_{T\text{Сум}} \cdot H_u} \cdot 3600,$$

где  $C_1$  – эффективный КПД;  $N_{em}$  – мощность ГТУ;  $C_{T\text{Сум}}$  – суммарный часовой расход топлива;  $H_u$  – коэффициент полноты сгорания топлива.

#### Характеристики модели ГТУ 9НА.01

Адрес	Наименование	Режим №1	Режим №2
211102	Степень повышения давления или ТПХ пк*	37,15	37,15
32002	КПД эф	41,8%	47,2%
4005	Суммарный часовой расход топлива, $C_{T\text{Сум}}$ , кг/ч	82590,9	75649,4
411205	Относительный расход топлива $q_T$	0,0286	0,0127

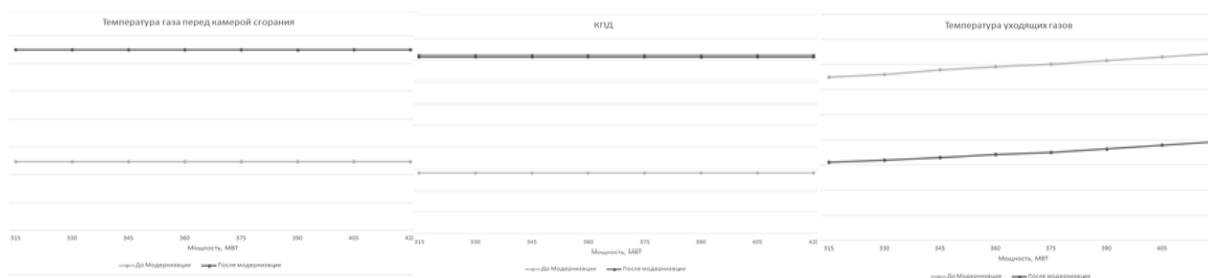


Рис. 2. График зависимости температуры перед камерой сгорания от мощности ГТУ, КПД от мощности и температуры уходящих газов до и после модернизации

В результате моделирования получили две группы данных при работе на различных режимах нагрузки. Для облегчения сравнения и оценки актуальности модернизации составили графики, представленные на рис. 2. Таким образом, видно, что при работе на одну и ту же мощность температура газа перед камерой сгорания у модифицированной турбины выше, что и было целью расчета. При этом эффективный КПД у модернизированной турбины выше, а теплота уходящих газов меньше, что повышает экологичность газовой турбины. В дальнейшей работе планируются исследование выбранной ГТУ с использованием обобщенных параметров узлов. В исследованиях будут определены расход топливного газа для ГТУ, фактические значения мощности и КПД установки.

### **Источники**

1. Беденьгов И.В., Мингалеева Г.Р. Разработка теплообменника-регенератора для газотурбинных установок // Вестник КГЭУ. 2019. Т.11. № 2(42). С. 39-46.

2. Ahmed A.M., Tariq M. Thermal analysis of a gas turbine power plant to improve performance efficiency // International journal of mechanical engineering and technology (IJMET). 2013. V.4. 128 с.

УДК 621.3

## **ПУТИ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ**

Л.Р. Мавляутдинов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

linar.mavlyautdinov@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Н. Маслов

В статье предложен обзор на применение различных методов использования вторичных энергетических ресурсов.

**Ключевые слова:** вторичные энергетические ресурсы, энергосберегающие мероприятия, промышленность, рационализация, экономия, собственные источники энергии.

Индустрия промышленности является крупнейшим потребителем топливно-энергетических ресурсов. Как нам известно, суть промышленности заключается в том, чтобы из одного вида энергии получать другой вид. Но не всё так идеально как кажется: не вся энергия переходит в другую, обязательно появляются потери. Наша задача найти способы уменьшения этих самых потерь. Одним из самых действенных, на сегодняшний день, способов уменьшения потерь, как ни странно, является применение второстепенных энергетических ресурсов.

Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) – тепловые отходы производств промышленных предприятий, переработка которых приводит к экономии горючего и сокращения затрат для энергетического сбережения [1].

Применение различных ВЭР позволяет, как уменьшить потребность в топливе, так и в тепловой и электрической энергии со стороны. Программа применения ВЭР на предприятиях обязана утверждаться в согласовании с итогами финансовых расчетов.

Так, при измерениях эффективности применения энергии, возникшей за счёт ВЭР, предусматриваются вероятные пути и методы их утилизации, технические и экономические показатели функционирующего утилизационного оборудования, денежная необходимость выработки определенной энергии с учетом количества и иных факторов.

Есть два основных направления рационализации энергоснабжения: установка собственных источников энергии на предприятии и внедрение энергосберегающих мероприятий [2].

Под собственными источниками энергии подразумевается установка любых видов электростанций: газотурбинных, газопоршневых электростанций; паросиловых установок малой мощности, дизель генераторы; станции, базирующиеся на использовании возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и т.д. Примеры использования: КамАЗ (Нижекамская ГЭС), Казаньоргсинтез (Казанская ТЭЦ-3) [3].

А.В. Шелгунов, в исследовании экономической эффективности использования автономных источников питания, пришел к выводу, что автономное энергоснабжение дает не только финансовую выгоду, но и позволяет увеличить снабжение предприятия электрической энергией в более краткие, чем ранее, сроки [4].

Под энергетическим сбережением предполагается комплекс мероприятий, сосредоточенных на снижении пользования энергией и основанный на тщательно составленной программе экономичных и продуктивных методов оптимизации пользования энергетическими ресурсами [5].

И.В. Белавкин, совместно с Л.С. Казариным, в качестве метода оптимизации сжигания ресурсов, предлагают способ, позволяющий значительно экономить потребление первичных ресурсов, путем изменения контуров регулирования котельных установок – от подачи топлива, до выходных параметров пара. По их мнению, данный метод может использоваться не только в котлах, но и в других теплотехнических процессах, в основе работы которых лежит процесс сжигание топлива [6].

На сегодняшний день в крупной промышленности используется всего 2 основных метода использования второстепенных энергетических ресурсов. Руководствам промышленных предприятий рекомендовано рассмотреть возможность применения вторичных энергетических ресурсов в целях снижения затрат на энергию и повышения качества издаваемой продукции.

### **Источники**

1. Денисов-Винский Н.Д. Вторичные энергетические ресурсы как резерв энергосбережения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vtorichnye-energeticheskie-resursy-kak-rezerv-energoberezeniya/viewer> (дата обращения 15.03.22).

2. Климовец О.В. Экономическая эффективность использования вторичных энергетических ресурсов в промышленности. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://clck.ru/dVMgR> (дата обращения 12.03.22).

3. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Ахметшин А.Р. Повышение эффективности парогазовой установки за счет охлаждения поступающего воздуха с помощью абсорбционной холодильной машины // Серия конференций ИОР: Материаловедение и инженерия. 2019. Том 643. Артикул 012099. DOI 10.1088/1757-899X/643/1/012099.

4. Шелгунов А.В. Экономическая эффективность применения автономных источников электропитания [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskaya-effektivnost-primeneniya-avtonomnyh-istochnikov-elektropitaniya/viewer> (дата обращения 03.03.22).

5. Энергосберегающие мероприятия. Материал из [www.eg-arstem.ru](http://www.eg-arstem.ru). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://clck.ru/dVPh2> (дата обращения 03.03.2022).

6. Казаринов Л.С., Белавкин И.В. Оптимизация режимов энергетических котлов при сжигании ВЭР [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-rezhimov-energeticheskikh-kotlov-pri-szhiganii-ver/viewer> (дата обращения 10.03.22).



## РАБОТА ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ НА ВОДОРОДНОМ ТОПЛИВЕ

Г.Е. Марьин<sup>1</sup>, Ю.В. Сопина<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>АО ТАТЭНЕРГО, <sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>George64199@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Б.М. Осипов

В настоящий момент водородные технологии становятся важным направлением при декарбонизации энергетических систем. Высокая стоимость производства водорода ограничивает его быстрое распространение. Для проведения исследования создана математическая модель газовой турбины GE 6FA в автоматизированной системе АС ГРЭТ. Решена проблема идентификации математической модели и проведена аппроксимация термодинамических свойств топлива.

**Ключевые слова:** ГТУ, водород, электроэнергия, альтернативное топливо.

Одним из способов решения экологических проблем является переход к водородной энергетике [1, 2]. Водород рассматривается как альтернатива традиционным видам топлива. Практически все страны разрабатывают водородные стратегии и дорожные карты развития энергетики. Исследования направлены на решение проблем при производстве, хранении и использовании в качестве топлива.

В свободном виде водород практически не встречается, однако его можно встретить в различных соединениях (вода, минералы, природный газ). Высокая энергетическая ценность водорода 120–140 МДж/кг обуславливают его распространение и применение в различных областях: нефтехимия, металлургия, но доля в энергетике очень мала менее 2 % [3]. Существующая экономическая модель не позволяет водороду быть конкурентным по отношению к традиционным топливам. Следовательно, усилия по внедрению водородных технологий направлены в первую очередь на поддержку тех отраслей, в которых водород является экономически окупаемым источником энергии или в тех, где декарбонизация не может быть обеспечена иным способом.

В настоящий момент энергетический переход сосредоточен на производстве чистой электроэнергии, но в тоже время не решены проблемы хранения, транспортировки водорода. Водород рассматривается как реалистичная модель для долгосрочного хранения электроэнергии, полученной с помощью ВИЭ, АЭС (работа станции в базовом режиме, без уменьшения генерируемой мощности).

В качестве исследуемого объекта выбрана газовая турбина General Electric 6FA. Турбины GE 6FA успешно работают как в простом, так и в парогазовом цикле.

Для исследований создана математическая модель газовой турбины в программном комплексе АС ГРЭТ, разработанный коллективом авторов в КГЭУ [4]. Данный программный комплекс позволяет производить расчет энергетических и экологических характеристик газовых турбин. Работа газовой турбины при работе на оптовом рынке электроэнергии происходит при переменной нагрузке. В данной работе рассмотрена мощность газовой турбины в диапазоне от 40 до 80 МВт. Исходные данные для расчетов:  $P_{в}=101,3$  кПа,  $T_{в}=15$ С,  $T_{yx}=600$ С, влажность 60 %.

Одним из важных критериев оценки параметров двигателя является мгновенный расход воздуха, поступающего в компрессор рис. 1.

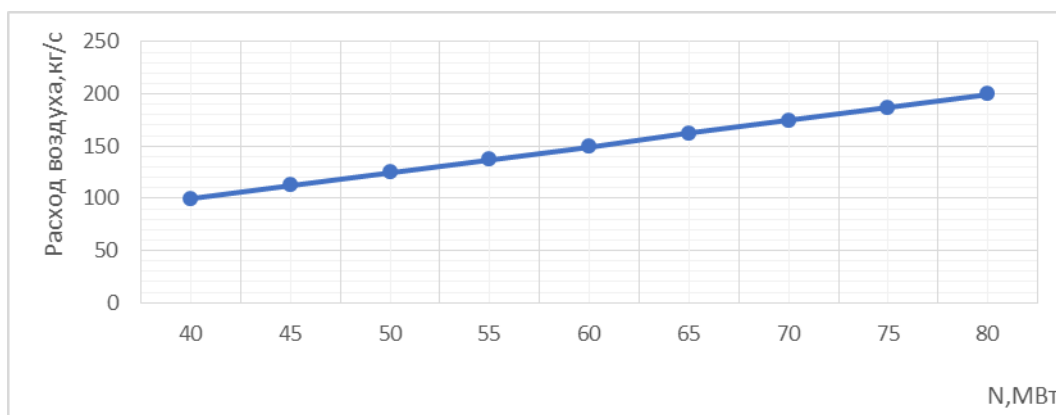


Рис. 1. Изменение мгновенного расхода воздуха, сжимаемого компрессором при работе ГТУ на водороде

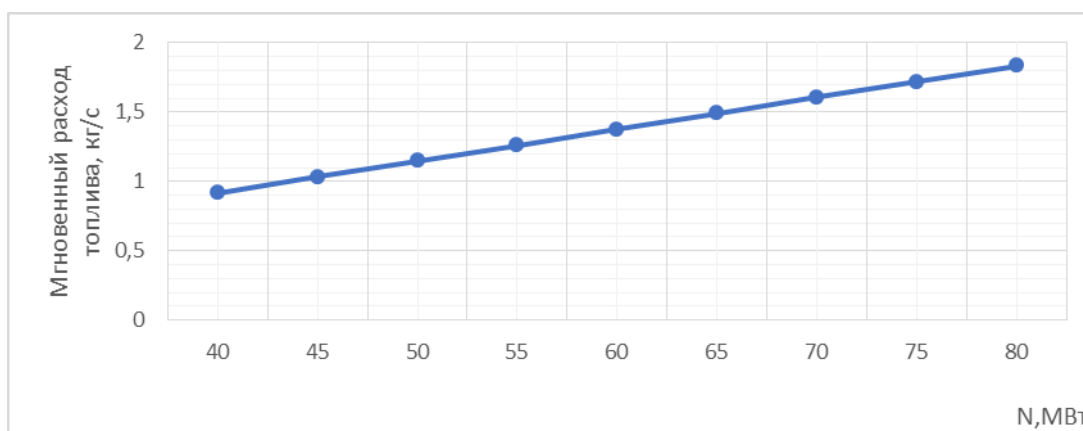


Рис. 2. Изменение мгновенного расхода топливного при работе ГТУ на водороде

Максимальный расход воздуха при мощности 80 МВт составляет 200 кг/с, следовательно, при переводе газовой турбины на водородное топливо нет необходимости изменять геометрия компрессора. При эксплуатации возможен переход как на водород, так и природный газ [5].

На рис. 2 представлен мгновенный расход водорода, по этим данным можно прогнозировать работу системы подготовки топлива.

Получение количественных данных по расходу водорода позволяет прогнозировать работу вспомогательного оборудования во всем диапазоне мощностей газовой турбины. При транспортировке водорода по топливопроводам можно рассчитать максимальные диаметры и энергию на сжатие. Максимальный расход водорода достигается при мощности 80 МВт и составляет 1,83 кг/с.

### **Источники**

1. Марьин Г.Е., Сопина Ю.В. Перспективы применения водорода в энергетике // Межд. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. С. 4160-4163.

2. Белобородов С.С., Ненашев А.В., Гапо Е.Г. Конкурентоспособность экономики при переходе на водородную энергетику. Водород в энергетике Европейского Союза // Промышленная энергетика. 2021. № 1. С. 44-55.

3. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355.

4. Титов А.В., Осипов Б.М. Инструментальная среда для исследования газотурбинных установок на математических моделях// КГЭУ. 2017. № 4(36). С. 17-21.

5. 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.

## ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГТУ V94.2

Е.О. Микусов<sup>1</sup>, Е.Н. Викторов<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>egor-mikusov@rambler.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. М.В. Савина

В статье проведено сравнение результатов расчетов параметров и мощности тепловых схем ПГУ на базе ГТУ V94.2. Предложен алгоритм расчета основного оборудования с помощью Автоматизированной системы газодинамического расчёта энергетических турбомашин, проведена оценка влияния исходных данных на режимные параметры газовой турбины и выбор котла-утилизатора для паровой части ПГУ.

**Ключевые слова:** моделирование процесса, газовая турбина, топливо.

Согласно концепции современной технической политики РАО «ЕЭС России» наиболее эффективными для европейской части России являются ТЭС, работающие на природном газе. Для постройки новых тепловых электростанций приоритетным фактором является использование инновационных инструментов, обеспечивающих высокие технические и экономические показатели. На современных тепловых электростанциях, которые в качестве топлива должны применять природный газ, было принято решение в работе применять только парогазовые установки (ПГУ). Такая установка введена в эксплуатацию на Калининградской ТЭЦ-2 в 2005 г. [1].

В своём составе парогазовая установка ПГУ-450Т Калининградской теплоэлектростанции ТЭЦ-2 имеет две ГТУ (газотурбинных установки) типа ГТЭ-160, два головных котла-утилизатора (КУ) разновидности П-96 (Е-232/454-7,75/0,5-510/226) и одна ПТ типа Т-150-7,7. Установка ГТЭ-160 является аналогом турбины V94.2 и может быть рассмотрена в качестве исходного параметра моделирования тепловой схемы.

В работе [1] авторы исследовали котёл-утилизатор П-96 в составе ПГУ-450Т Калининградской ТЭЦ-2 в момент, когда отрабатываются пускоостановочные режимы и проходят базовые нагрузки.

Электрическая мощность ГТЭ-160 по результатам режимных испытаний при внешних условиях по ГОСТ 20440 для условий температуры наружного воздуха +15 °С и среднегодовой (для Калининградской области) температуры наружного воздуха +7,1 °С составляет 149,6 и 157,8 МВт, соответственно. В качестве постоянных значений выбраны: давление воздуха 101,3 кПа, влажность 60 %, сопротивление на входе в компрессор 1 кПа, сопротивление на выходе из турбины 3,3 кПа, [2] и низшая теплотворная способность газообразного топлива 49318 кДж/кг.

В работе [3] авторы показали эффективность ПГУ с учетом теплофикационного и конденсационного режима работы.

В обеих схемах установлен котёл-утилизатор П-96, паровая турбина для первой схемы: К-150-7,7 ЛМЗ; паровая турбина для второй схемы: Т-150-7,7 ЛМЗ.

Для оценки эффективности ПГУ и степени влияния каждого параметра были использованы следующие исходные данные по ГТУ V94.2 одинаковые для обеих схем, для расчета в АС ГРЭТ: начальная температура 288,15 К; начальное давление 0,101325 МПа; степень повышения давления в компрессоре 11,3; число оборотов ротора компрессора 3000 об/мин; тип топлива – природный газ; температура воздуха на выходе из компрессора 606,85 К

Данные, которые в схемах отличаются, приведены в таблице.

Расчётные данные турбины V94.2

Режимные параметры	1 схема	2 схема
Расход воздуха, кг/с	488	497
Давление воздуха на выходе из компрессора, МПа	1,148	1,145
Температура газов на входе в турбину, К	1380,91	1490
Теплоемкость газов, кДж/(кг·К)	1,26	1,477
Низшая теплотворная способность заданного топлива, кДж/кг	49 873,16	42 000
Скорость газов на входе в сопловой аппарат первой ступени, м/с	85	95
Скорость газов на выходе из рабочего колеса последней ступени, м/с	120	125

В ходе расчетов для первой схемы полученная мощность турбины 139,621 МВт, температура газов 810,19 К, расход воздуха 496,98 кг/с; для второй схемы – соответственно 101,35 МВт, 838,919 К, 456,88 кг/с

Полученные данные по работе газовой турбины в условиях изменения определённых характеристик, таких как, например, вида топлива, его состава, теплотворной способности, температуры газов на выходе, могут оказать существенное влияние не только на дальнейший расчет безотказности котла-утилизатора ПГУ и выбор рациональных схем ПГУ с учетом его надежности в условиях теплофикационного [4] и конденсационного режима, но также на изменение топливopодготовки и конструкции газовых турбин. Также важно построение имитационной модели [5, 6] и создание методологии сквозного проектирования схем ПГУ с меняющимся видом топлива (цифровых двойников).

### **Источники**

1. Исследование котла-утилизатора П-96 в составе ПГУ-450Т Калининградской ТЭЦ-2 при отработке пускоостановочных режимов и несении базовых нагрузок / П. А. Лепаев, Т. П. Штань, Б. Н. Глускер [и др.] // Теплоэнергетика. 2007. № 9. С. 2-9.

2. Состав основного оборудования энергоблока ПГУ-450 Калининградской ТЭЦ-2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pandia.ru/text/78/089/66285.php> (дата обращения 03.03.2022).

3. Аминов Р.З., Гариевский М.В. Эффективность работы парогазовых ТЭЦ при переменных электрических нагрузках с учетом износа оборудования // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. Т. 20. №7-8. С. 10-22.

4. Анкудинова М.С. Выбор рациональных схем теплофикационных ПГУ с учетом надежности котла-утилизатора: дисс. ... канд. техн. наук: 05.14.01. Саратов, 2015. 182 с.

5. Титов А.В., Осипов Б.М. Математическая модель турбины // Инновационная наука. 2017. №3-1. С. 96-98.

6. Титов А.В., Осипов Б.М. Структура универсальной математической модели ГТД // Символ науки. 2016. №12-2. С. 115-117.

## СИСТЕМА ОЧИСТКИ МАСЛООХЛАЖДЕНИЯ ГТУ

И.И. Минмуллин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
Inaz98\_10@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук. доц. И.Н. Маслов

Для нормальной работы газотурбинной установки очень важно обеспечить непрерывное смазывание трущихся деталей определенной по качеству и составу смазкой. Для поддержания в определенных условиях масла необходимо проводить целый спектр обслуживания масла. Он включает охлаждение, очистку от механических включений, пополнение маслом. Предлагается анализ использования различных масел для ГТУ с возможностью многократного применения на установках.

**Ключевые слова:** теплообмен, повышение эффективности, система очистки и охлаждения масла, турбинное масло, плотность, вязкость.

Теплота, которую должна отводить в окружающую среду система маслоохлаждения, поступает с маслом, сливающимся из картеров подшипниковых узлов и блока системы регулирования.

Эта теплота образуется разными способами [1]:

1) теплота трения в опорных и упорных подшипниках турбомашин агрегата – эта часть, которая определяется в долях от внутренней мощности турбомашин по величине механического КПД, представляет 0,98...0,99;

2) затраты энергии в маслососах, теплота (работа) трения в органах регулирования, трубопроводах и других деталях масляного тракта;

3) теплота, передающаяся от вращающихся деталей, стенок картеров подшипников и от валов турбин, проходящих в картеры, теплота, передающаяся от корпусных деталей и т.д.

Доля третьей группы источников теплоты представляется связанной с компоновкой турбоагрегата – касания поверхности при снабжении маслом узлов в горячих частях: в проточной части, к поверхностям корпусов, к переходным и выхлопным газовым патрубкам и т.п.

Турбинное масло, полученное с помощью специальной очистки указанных дистиллятов путем удаления разных компонентов, которые снижают стабильность масла, увеличивают коррозионную активность, снижают вязкость [2]. Технические свойства масел улучшаются добавлением различных присадок. Варианты очистки дистиллятов в большей мере влияет на свойства турбинного масла, поэтому часто в его названии пишутся.

Сейчас на ТЭС и АЭС применяется, в первую очередь, турбинное масло Тп-22С специальной очистки с последующей гидроочисткой по ТУ 38.101821-83. Во многих перекачивающих газ агрегатах применяются смазочные масла специального класса 22, чаще всего турбинное масло Ткп-22. Встречаются иногда перекачивающие агрегаты (ГПА-10, ГПА-Ц-6,3 и др.), где в газогенераторе ГТУ и в силовой турбине с нагнетателем используются разнообразные типы масел. Например, в ГПА-10 применялось судовое газотурбинное масло по ГОСТ 10289-79 и масло Ткп-22; в ГПА-Ц-6,3 смесь (по 50 %) авиационных масел МК-8 и МС-20 и масло Ткп-22. Предлагается масло для турбин обрабатывать в специальном центробежном аппарате для выделения и удаления разных компонентов, которые ухудшают устойчивость масла (шлам, взвеси и т.д.). Рабочие свойства масел можно сохранить добавлением различных присадок [3, 4].

Полученное нашим способом масло обладает необходимыми физико-химическими особенностями: плотностью (для масла Тп-22С при  $t_m = 20$  °С)  $895 \text{ кг/м}^3$  и вязкостью, которое предполагается использовать для различных гидравлических систем простых механизмов. Предложенная методика может быть применена для одной ГТУ с целью очистки масла от образующихся микрочастиц.

### Источники

1. Рогалев Б.М., Смолин Ю.И. Эксплуатация и ремонт газотурбонагнетателей судовых дизелей. М.: Транспорт, 1975. 192 с.
2. Семенюк А.В., Андреев А.К., Семенюк Л.А. Эксплуатационные загрязнения газотурбонагнетателей ДВС и способы их очистки: метод. указ. Владивосток: МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2008. 30 с.
3. Маслов И.Н. Разработка локальных систем очистки промышленных стоков с использованием центробежного сгустителя: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 11.00.11. Казань, 1995
4. Китаев С.В. Повышение энергетической эффективности работы газоперекачивающих агрегатов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.19. Уфа, 2003. 22 с.



## КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ ГТУ МОЩНОСТЬЮ 160 МВт

Д.А. Муругов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

danil.murugov@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Г.Р. Мингалеева

В работе представлены результаты расчета конструктивных параметров газотурбинной установки мощностью 160 МВт. Показан метод расчета ГТУ по его основным узлам: компрессор, камера сгорания и турбина.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка, осевой компрессор, камера сгорания, турбина, вид топлива.

Расчет конструктивных параметров газотурбинной установки Siemens v94.2 выполняется по основным узлам: компрессор, камера сгорания и турбина с использованием компьютерной программы на алгоритмическом языке FORTRAN версии VisualFortran [1]. Обозначения переменных (идентификаторов) выбраны максимально приближенными к физическим.

Рассмотрим расчет компрессора. В качестве исходных данных задаются:  $G$  ( $Gv = 509,5$ ) – расход воздуха кг/с;  $T_0$  начальная температура, К;  $p_0$  – начальное давление МПа;  $\pi_k$  ( $\pi_k = 11,4$ ) – степень повышения давления в компрессоре. Параметры окружающего воздуха принимаются в соответствии с данными стандартной атмосферы (СА)  $T_h = 288$  К;  $p_h = 0,101325$  МПа. Также задается число оборотов компрессора  $n = 3000$  об/мин ( $n$ ) по умолчанию. В расчетах показатель изоэнтропы сжатия для воздуха  $k = 1,41$  ( $k_v$ ); газовая постоянная  $R = 286,99$  Дж/(кг.град) ( $R_v$ ); молекулярная масса  $\mu = 28,97$  кг/кмоль ( $\mu_{uv}$ ).

Предварительный расчет компрессора проводится в следующем порядке. Сначала задается осевая скоростью на входе в первую ступень  $Cz(1)$  [идентификагор  $Cz(1)$ ] равной 160 м/с. Далее указываются параметры потока на входе: плотность  $\rho_0 = 1,02$  кг/м<sup>3</sup>, температура  $t_1 = 269,77$  К; полное давление воздуха на выходе  $p_{2z} = 1,11$  МПа, окружная скорость  $u = 380,92$  м/с. Вводится новое значение окружной скорости равное 330 м/с и наружного диаметра 2,1 м.

Выводятся в экран значения параметров:

$DH1, Dvt1, l_{pk1}, Cz1, M1, T_1^*, \text{Над}, \eta_{\text{адк}}^*$

$(DH1, Dvt1, Lr1, Cz(1), M1, T1z, \text{Над}, k_{pdadk})$ .

Далее компрессор рассчитывается по ступеням. Результаты расчетов параметров потока воздуха в ступенях компрессора представляют в табличном виде: массив осевых скоростей  $cz$ ; массив работы в ступенях  $hct$ ; массив коэффициентов затрат работы в ступенях  $xi$ ; массив адиабатич. КПД ступеней  $k_{pdct}$ .

В ходе расчета первой ступени программа выдает результаты промежуточных вычислений:

- $dt, ti, hizct, pict, pli$ ;
- $poi, Fi, di, Dvti, Dcri$ ;
- $Lli, Ucri, ficri, hpi, hpiotn, bi, ai$ ;
- $cu1i, cu2i, wu1i, beta1i, w1i$ ;
- $Mw1i, cz2i, wu2i, beta2i, epsi$ ;
- $epspi, Ei, bdti, uataki, m$ ;
- $teta, betpi1, betpi2$ ;
- $kci1, kci2$ ;
- $teta, betpi1, betpi2, kci1, kci2, R1, R2$ .

Далее рассчитывается следующая ступень по такому же принципу, до тех пор, пока не достигнет числа ступеней, определенного в ходе предварительного расчета [1, 5].

На следующем этапе проводится расчет камеры сгорания.

Параллельно идет расчет параметров потока воздуха на выходе из последней ступени компрессора. Для этого требуется определить: скорость на выходе из последней ступени компрессора; температура заторможенного потока на выходе из компрессора; теплоемкость воздуха; давление заторможенного потока на выходе из компрессора; статическое давление на входе в камеру сгорания; давление потока газов на выходе из камеры  $p_{30} = 0,96 p_k$  [2].

Затем рассчитывается газовая турбина по параметрам указанным в таблице.

Параметры для расчета

Вид топлива	природный газ
Давление воздуха	$p_2=1,145 \text{ МПа}$
Температура на выходе из компрессора	$T_2=613,34 \text{ К}$
Температура газов на входе в турбину	$T_3=1379,18 \text{ К}$
Расход газов в турбину	$G_g = 497 \text{ кг/с}$
Теплоемкость газов	$C_p = 1,26 \text{ кДж/кг град}$
Показатель идеальных процессов расширения	$k=1,3$

Выбираются скорости газов на входе в сопловой аппарат 1-ой ступени С3 и на выходе из РК последней ступени С4, приняты равными 85 и 120 м/с. Коэффициент гидравлических потерь (КГП) в камере сгорания считается равным 0,96. Далее проводится расчет и вводятся следующие параметры:

- среднее значение теплоперепада в ступени  $h_{ст} = 150$  кДж/кг;
- значение окружной скорости на среднем диаметре  $U_{ср} = 380$  м/с.

Выдается число ступеней, которое составило 4. Средний диаметр составил  $D_{ср} = 2,42$  м, длина лопаток соплового аппарата 1-ой ступени  $l_{с1} = 0,89$  м, длина лопаток рабочего колеса последней ступени  $l_{ркz} = 1,38$  м.

В результате расчета можно сделать вывод, что полученные размеры соответствуют прототипу [3, 4].

### Источники

1. Шигапов А.Б. Стационарные газотурбинные установки тепловых электрических станций. Казань. Изд-во КГЭУ, 2006. 316 с.
2. Стационарные газотурбинные установки. Справочник; под ред. Л.В. Арсеньева, В.Г. Тырышкина. Л.: Машиностроение. 1989. 543 с.
3. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. М.: Изд-во МЭИ. 2002. 584 с.
4. Костюк А.Г., Шерстюк А.Н. Газотурбинные установки. М.: Высшая школа, 1979. 254 с.
5. Шигапов А.Б., Силов И.Ю., Калимуллин А.В. Термодинамические свойства продуктов сгорания топлив стационарных ГТУ: метод. пособие. Казань: Изд-во КГЭУ, 2009. 16 с.

УДК 665.66

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ОЧИСТКИ ОТРАБОТАННОГО МАСЛА

М.Ф. Набиуллина<sup>1</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>madinanabiullina@yandex.ru, <sup>2</sup>laptserga@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. С.А. Лаптев<sup>2</sup>

Предложено устройство для очистки отработанных масел от воды, газов, химических и механических примесей.

**Ключевые слова:** регенерация, очистка, отработанное масло, устройство маслоочистки, центробежная сепарация.

В условиях нестабильности рыночной экономики возникает необходимость рационального и бережного использования оборудования на электростанции. В связи с этим актуальна разработка установки очистки и регенерации турбинного масла, обеспечивающего его повторное использование в турбоагрегатах на смазку и охлаждение подшипников и его использование в качестве рабочей жидкости [1].

В топливной промышленности применяются различные технологии и способы очистки или регенерации энергетических масел: физические, физико-химические и химические [2]. Анализ эффективности технологий маслоочистки показывает, что наиболее выгодно использовать маслоочистительное оборудование комбинированного типа, включающую предварительную очистку от механических примесей и влаги, способного обеспечить очистку масел в полном соответствии с требованиями действующих НТД [2].

В конструктивной схеме установки регенерации отработанного масла предложен многофункциональный аппарат, позволяющий проводить одновременно, как процесс смешения, так и центробежную очистку.

Анализ оборудования, применяемого при регенерации отработанных масел, позволяет подобрать варианты исполнения устройства и аппарата регенерации наиболее качественно и выделить ряд его отличительных особенностей.

При разработке устройства очистки был использован аппарат, основным элементом которого является центрифуга. Еще одним важным элементом устройства является гидроциклон, позволяющий произвести предварительную или же повторную очистку отработанного масла от механических примесей.

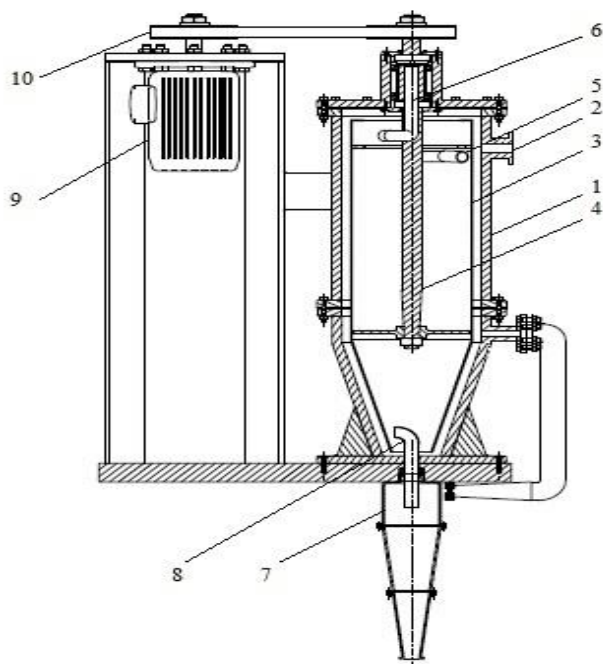
Устройство центробежной очистки отработанного энергетического масла содержит цилиндрический корпус с крышкой и коническим основанием (см. рисунок). Кожух центрифуги представляет собой полую область, в которой можно производить подогрев и смешивание отработанного масла с экстрактивными растворителями, коагулировать взвешенные частицы и осадок. Ротор центрифуги представляет собой полую цилиндрически-коническую поверхность, в которой под действием центробежных сил происходит сепарация твердой фазы, центробежное отстаивание. Также в роторе имеется перегородка, осуществляющая разделение очищенного масла от рабочей жидкости.

Отработанное масло в устройство очистки подается самотеком. Жидкость перемещается между различными функциональными зонами за счет перепада давления в устройстве. Скоростной напор, создаваемый вращающимся ротором, перемещает жидкие фазы внутри аппарата, а также из аппарата обратно в буферные емкости [1].

Электродвигатель через ременную передачу приводит в движение вал ротора центрифуги. Подводящие и отводящие патрубки в аппарате, установленные на разных уровнях и снабженные регулируемыми элементами, позволяют комбинировать селективность очистки в процессе одного или нескольких циклов регенерации. Регулировка расходов подводящих и отводящих фаз позволяет также изменять время пребывания их в аппарате [1].

Твердые частицы и сгущенные осадки сливаются в ёмкость сбора твердых осадков для дальнейшей утилизации [1].

Центрифуга работает следующим образом (см. рисунок). Подача рабочей жидкости осуществляется через входной патрубок 2, которая поступает в кожух 1. Регулируемое поступление рабочей жидкости в гидроциклон 7 позволяет при необходимости осуществлять дополнительную очистку отработанного масла от механических примесей. Предварительно очищенное отработанное масло поступает через сливной патрубок гидроциклона 8 в ротор центрифуги 3. Под действием центробежной силы отработанное масло отделяется от воды и механических примесей. Вода и механические примеси, имеющие большую плотность, чем масло под действием центробежной силы оказываются ближе к внутренней обечайке ротора, масло - ближе к оси ротора. Масло через зазор между валом и перегородкой поступает в верхний отсек для сбора очищенного масла. Очищенное масло и вода отводятся из ротора центрифуги выходными патрубками 2, закреплёнными сальниковыми уплотнениями к крышке кожуха.



Устройство очистки отработанного масла:  
 1 - кожух, 2 – входной патрубок, 3 – ротор, 4 – вал, 5 – отвод воды, 6 – отвод очищенного масла, 7 – гидроциклон, 8 – сливная насадка, 9 – электродвигатель, 10 - ременная передача

Возможность многократного повтора цикла очистки отработанного масла обеспечивает его повторное использование на агрегатах с более низкими требованиями к классу чистоты используемого масла.

Исходя из расчетов технологических и прочностных показателей разработанного нами центробежного аппарата очистки можно сделать вывод, что при увеличении размеров разработанного устройства до размера типовых малолитражных центрифуг, технологические показатели будут улучшаться, так как при увеличении радиуса ротора возрастает фактор разделения и соответственно индекс производительности.

### **Источники**

1. Набиуллина М.Ф., Лаптев С.А. Разработка рациональной компоновочной схемы установки регенерации отработанного масла // Межд. молод. науч. конф. «Тинчуринские чтения – 2020 «Энергетика и цифровая трансформация». Казань. Т. 2. С. 205-208.

2. Технологический цикл энергетического масла и основные способы утилизации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.oil-tehenergo.ru/stati> (дата обращения 23.03.2022).

УДК 624

## **ЭНЕРГОАУДИТ И СИСТЕМЫ ПГУ**

А.В. Напойкина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

napoykina34@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Н. Маслов

В статье рассмотрен энергоаудит, как средство сокращения энергетических потерь в системах с парогазовыми установками, используемые на тепловых и атомных станциях. Были проанализированы необходимые для энергоаудита условия, декларированные постановлениями и федеральным законом РФ, и предложены пути устранения потерь, выявленных в ходе проверки. Также были предложены основные мероприятия по экономии энергии на предприятии с парогазовыми установками.

**Ключевые слова:** энергоаудит, парогазовые установки, потери теплоэнергии, потери электроэнергии, промышленное предприятие.

Энергоаудит – распространённое энергетическое обследование предприятия, предназначенное для выявления возможности экономически эффективной оптимизации потребления энергетических ресурсов [2]. Энергоаудит является одним из ключевых мероприятий, проводящихся на предприятии.

Энергетические ресурсы являются особо затратной статьей расходов (на которую уходит около 70 % от всех доходов).

И поэтому для предприятия очень выгодно, чтобы вначале процесса потерь энергии было как можно меньше. Для предприятий, предназначенных для получения тепловой и электрической энергии, наиболее подходящим является выбор парогазовых установок (ПГУ), как современных наиболее эффективные установки, которые используют на ЭС [1]. Работа ПГУ состоит из выполнения прямого термодинамического цикла преобразования тепловой энергии от пара в механическую работу при вращении ротора тепловой турбины и привода электрогенератора, что приводит к превращению механической энергии в электрическую [1]. Особенности конструкции и принцип работы делают парогазовые установки наиболее эффективными для использования на ТЭС (рис. 1).

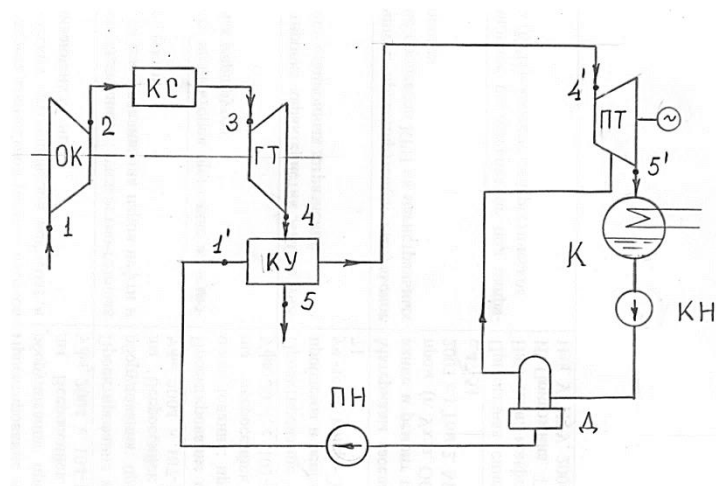


Рис. 1. Простейшая схема ПГУ с котлом-утилизатором

На ПГУ можно получить КПД около 65 % при производстве электричества. Как правило, на такой установке при работе турбин и насосов, перегоняющих воду и пар, происходят потери, которые необходимо искать и устранять, применяем и проводим энергоаудит [3–5]. По итогам проверки заказчик получает схему, показывающую энергетическое потребление на предприятии и пути устранения «утечек» (рис. 2) [6].



Рис. 2. Энергопотребление предприятия в результате проверки

Усредненная стоимость энергоаудита составляет 2 % от всех расходов на оплату энергии; аудит дает около 20 % экономии энергии, а затраты на его проведение окупаются в течение двух лет [2].

Основные мероприятия по экономии электроэнергии на промышленном предприятии

П/п	Объекты и наименования мероприятий	Достигаемая экономия, %
<b>Вентиляционные установки</b>		
1	Применение многоскоростных электродвигателей вместо регулировки шиберами в напорной линии	20–30
2	Применение теплообменников, использующих низкопотенциальное тепло	25–30
3	Блокировка вентиляторов тепловых завес с воротами	Около 20
4	Блокировка индивидуальных вытяжных систем	До 25

Исходя из вышеперечисленных данных (см. таблицу), можно сделать вывод, что для наилучшей экономии необходима установка сберегающей аппаратуры, которая позволит регулировать потребление электрической энергии на предприятии.

### Источники

1. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: учеб. пособие для вузов; под ред. С.В. Цанева. М.: МЭИ, 2002. 584 с.



2. Постановление Правительства РФ от 12 августа 1998 г., № 938 «О государственном энергетическом надзоре в Российской Федерации».

3. Федеральная целевая программа «Энергосбережение России» – основана на энергосберегающей политике государства в регионах и отраслях экономики на I 1998–2005 гг., Минтопэнерго РФ, 1998 г.

4. Федеральный закон «Об энергосбережении» от 03.04.1996 г., № 23–ФЗ.

5. Положение о проведении энергетических обследований предприятий. Минтопэнерго, 1998.

6. Халиева А.М., Баранов А.А. Мониторинг потребления тепловой и электрической энергии в энергетике // Тинчуринские чтения - 2021 «Энергетика и цифровая трансформация»: матер. Межд. молод. науч. конференции. В 3-х т. Казань, 2021. Т. 2. С. 198-201.

УДК 621.438

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАПАЗОНА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ТИПА W501G (1,10)

М.С. Новоселова<sup>1</sup>, Н.Р. Мингазов<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>nova-mara0607@list.ru, <sup>2</sup>niyaz-kazan01@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.В. Титов

В докладе проводится исследование диапазона работоспособности энергетической ГТУ типа W501G (1,10) на базе моделирования в АС ГРЭТ. После создания математической модели, был сформирован закон управления, состоящий из: невязок, образующихся параметрами давления воздуха на входе и давления газов на выходе из установки, варьируемых параметров, которыми были выбраны температура газа в камере сгорания для внешней дроссельной характеристики и мощность агрегата, вырабатывающего электроэнергию - для внутренней.

**Ключевые слова:** газовая турбина, математическая модель, невязка, варьируемый параметр, параметры, задающие режим (ПЗР), дроссельная характеристика.

В данном докладе приводятся внешняя и внутренняя характеристики, которые производились с целью изучения диапазона работоспособности ГТУ типа W501G (1,10). Выбранная для моделирования газотурбинная установка одновальная, с шестнадцатиступенчатой турбиной, имеет следующую схему (рис. 1).

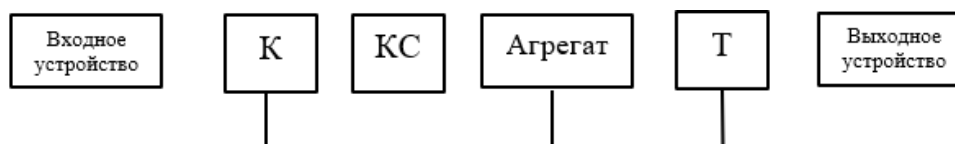


Рис. 1. Схема однофазной ГТУ W501G (1,10)

Начальными данными для выполнения расчета дроссельных характеристик были приняты технические характеристики W501G, представленные в таблице.

Технические характеристики однофазной ГТУ W501G (1,10)

Номинальная мощность, МВт	230
Электрический КПД, %	38,5
Температура газов:	
перед турбиной, °С	1426
за турбиной, °С	593
Степень повышения давления	19,2
Расход выходных газов, кг/с	545

После создания математической модели, был сформирован закон управления, состоящий из: невязок, образующихся параметрами давления воздуха на входе и давления газов на выходе из установки, варьируемых параметров, которыми были выбраны температура газа в камере сгорания для внешней дроссельной характеристики и мощность агрегата, вырабатывающего электроэнергию – для внутренней [1, 2]. Так же в закон управления входят параметры, задающие режим (ПЗР) такие как: мощность агрегата для внешней дроссельной характеристики и температура газов в камере сгорания – для внутренней [1].

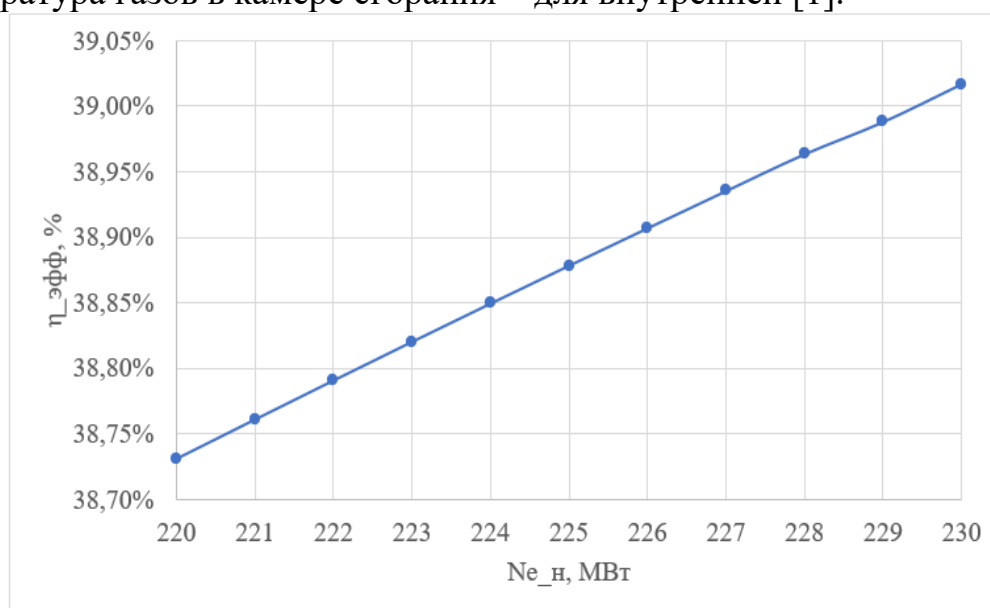


Рис. 2. Внешняя дроссельная характеристика эффективного КПД ГТУ

После выполнения расчета в АС ГРЭТ, были получены следующие данные: внешние дроссельные характеристики, выраженные как изменение следующих величин от приращения мощности агрегата – удельный расход топлива, суммарный часовой расход топлива, эффективный КПД газовой турбины; внутренние дроссельные характеристики, представляющие собой зависимость вышеперечисленные параметры от температуры в камере сгорания. Внешняя и внутренняя дроссельные характеристики эффективного КПД представлены на рис. 2 и 3.

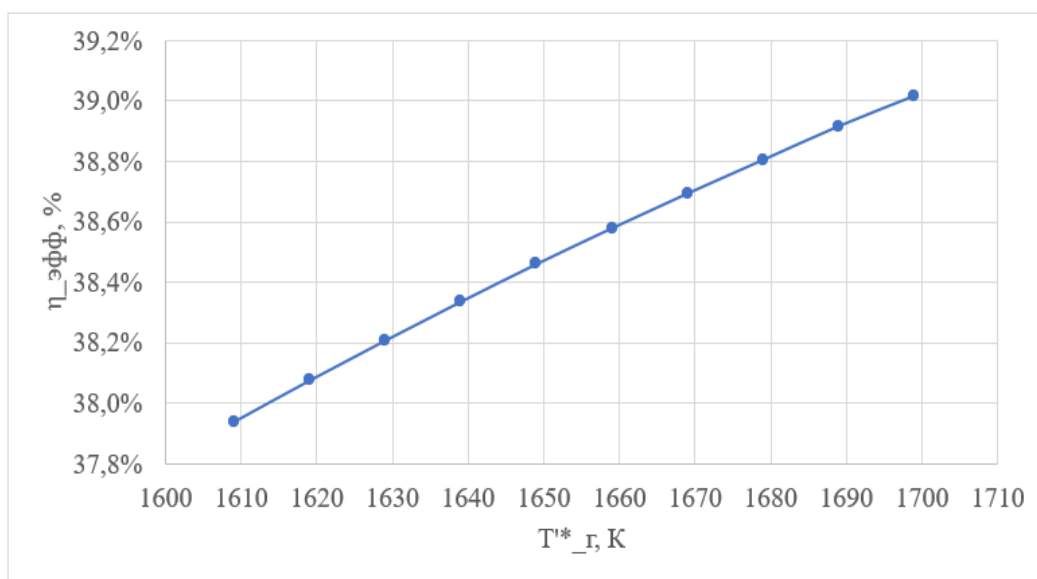


Рис. 3. Внутренняя дроссельная характеристика эффективного КПД газовой турбины

Таким образом, можно проследить зависимость параметров работы газотурбинной установки при различных значениях ПЗР, благодаря чему можно оценить эффективность и работоспособность установки при заданных условиях: рис. 2 показывает эффективность ГТУ при увеличении потребной мощности агрегата, вырабатывающего электроэнергию, что составляет 0,25 % при повышении потребной мощности на 10 МВт; рис. 3 описывает, насколько эффективной окажется газотурбинная установка в зависимости от изменения температуры в камере сгорания – примерно 1 % при повышении температуры на 90 К.

### Источники

1. Титов А.В., Сайтов И.Х. Исследование газотурбинной установки на установившихся режимах работы // Инновационная наука. 2017. №4-3.
2. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Ахметшин А.Р. Показатели режимных характеристик парогазового энергоблока ПГУ-110 МВт на частичных нагрузках // Вестник КГЭУ. 2019. Т. 11. № 3(43). С. 47-56.

## **3D МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДОГРЕВАТЕЛЯ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ**

А.С. Орлов<sup>1</sup>, М.Д. Клейдман<sup>2</sup>

<sup>1,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва

<sup>1</sup>olgakdpm1@gmail.com, <sup>2</sup>sanho\_40@mail.ru, <sup>3</sup>maxkleydman@gmail.com

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. О.В. Клейдман<sup>3</sup>

На основе метода конечных элементов (МКЭ) построена расчётная схема, позволяющая моделировать упругое деформирование днища корпуса с отверстием и с учётом укрепления отверстия патрубком для подогревателя высокого (аналогично низкого) давления. Проведено сравнение результатов численного анализа напряжённо-деформируемого состояния (НДС) с аналитическими расчётами по ГОСТ24755-89 для тех же исходных данных. Определены допустимые значения геометрических параметров для обеспечения прочности корпуса для расчётных давления, температуры стенки, продляемого срока службы, скорости коррозии и времени эксплуатации.

**Ключевые слова:** метод конечных элементов, прочность, НДС, оболочечные конструкции, статический анализ, концентратор напряжений.

Широкое применение в машиностроении, энергетике оболочечных конструкций сложной геометрии с наличием концентраторов напряжений ставит перед расчётчиками задачу создания удобных и точных численных алгоритмов анализа НДС [1], что обуславливает актуальность поставленной темы исследования. Повышение надёжности и долговечности энергетического оборудования связано с достоверным определением «опасных» мест. Наиболее эффективным современным средством достижения поставленной цели [2–4] является МКЭ. Инженерами «Энергопрогресс» отмечается, что на опыте не всегда подтверждаются теоретические расчёты. Поэтому сравнение разных подходов в решении вызывает несомненный интерес у специалистов.

Конечно-элементный анализ (на основе использования «ANSYS») НДС одиночного отверстия в днище крышки в зоне патрубков питательной воды с учётом первоначальных исходных данных не полностью подтверждает выводы теоретического расчёта, выполненного по ГОСТ 24755-89.

По результатам численного расчёта наибольшая интенсивность напряжений определяется в области отверстия с внутренней стороны крышки (рис. 2) и превышает допустимые напряжения для расчётной температуры, т.е. прочность не обеспечена. Изменение расположения от оси сосуда центра отверстия или уменьшение его диаметра значительно не меняет величину интенсивности напряжений. Дополнительно определены допустимые значения толщины стенки, высоты эллиптической части поверхности и внутреннего давления для обеспечения прочности крышки при сохранении всех остальных геометрических данных. В случае упрочнения отверстия штуцером наблюдается зона концентрации напряжений на стыке штуцера и крышки (рис. 3). В этом случае универсальный алгоритм также позволяет варьировать различными параметрами для снижения напряжений. При построении модели использовался квадратичный восьмиузловой оболочечный конечный элемент с учётом сгущения сетки в области концентрации напряжений (рис. 1).

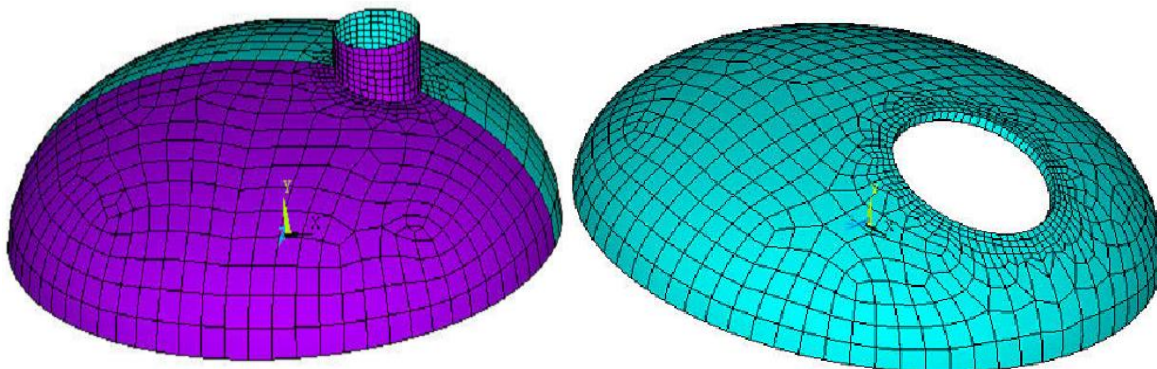


Рис. 1. Сетка конечных элементов

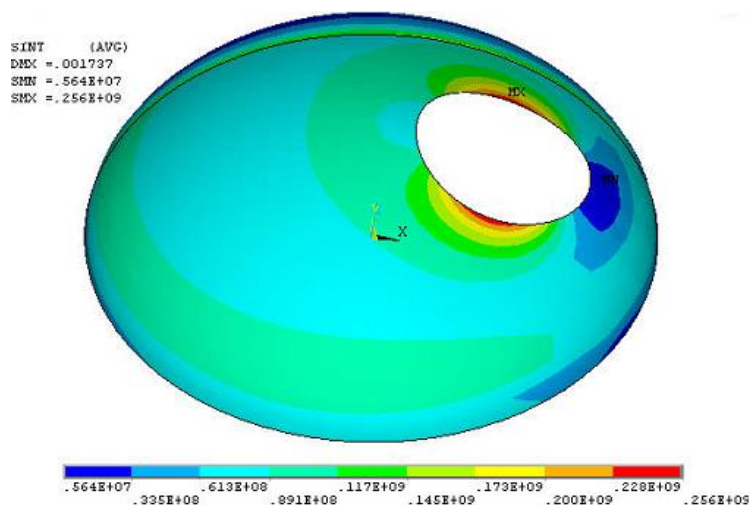


Рис. 2. Изолинии напряжений для крышки с отверстием с внутренней стороны

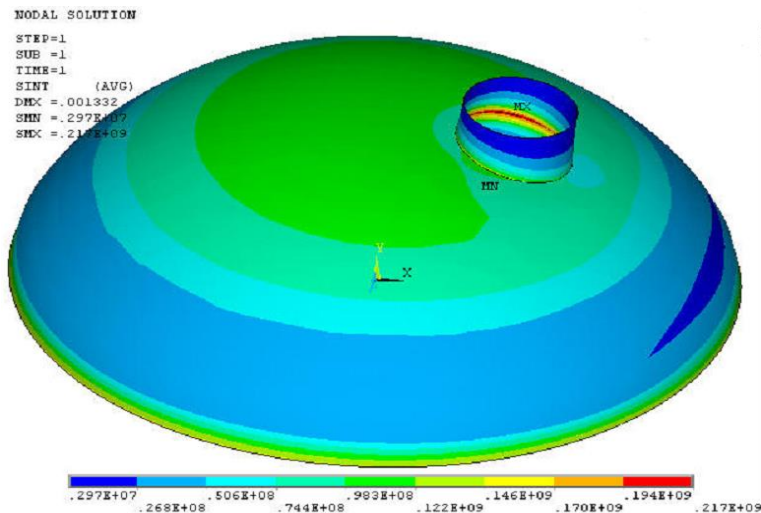


Рис. 3. Изолинии напряжений для днища с паровым патрубком

Например, на рис. 2 видно, что максимальное значение интенсивности напряжений составляет 256 МПа при допустимом 132 МПа. Современный уровень требований в расчётах на прочность таков, что достичь приемлемого по точности практического результата в отношении конструкции сложной геометрии невозможно без привлечения численных методов.

### Источники

1. Чичи И.Ф. Применение технологии трёхмерного моделирования ГТУ в образовательном процессе студентов в области энергомашиностроения // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация. В 3 т.: матер. Межд. молод. науч. конф. Казань, 2021. Т. 2. С.201-206.
2. Гапоненко С.О., Шакурова Р.З. Повышение эффективности энергетических систем и систем транспортировки энергоносителя с использованием методов математического моделирования // Матер. 24 межд. молод. науч. конф. «Туполевские чтения». Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2019.
3. Георгиевская Е.В. Применение механики разрушения для прогнозирования ресурса радиально-осевых гидротурбин // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. 20(9-10). С. 71-78.
4. Шакурова Р.З., Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е. Методика проведения оперативного диагностирования трубопроводов энергетических систем и комплексов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. 22(6). С. 188-201.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОПУТНЫХ ГАЗОВ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГТУ

А.Р. Ситдииков<sup>1</sup>, А.В. Ишалин<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>Adel\_sitdikov@mail.ru, <sup>2</sup>aiv1999@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Р. Ахметшин

В статье предложен метод применения попутных нефтяных газов в ГТУ. Перспективы и экономическая целесообразность.

**Ключевые слова:** попутный нефтяной газ, ГТУ, топливо, турбина, мощность, природный газ, энергия.

Проблема максимизации выработки электроэнергии, была актуальной всегда. Основные решения этой проблемы – это увеличение КПД, уменьшение издержек и модернизация конструкции. Так же, в качестве решения, можно рассматривать дешевые энергоносители, например попутный нефтяной газ.

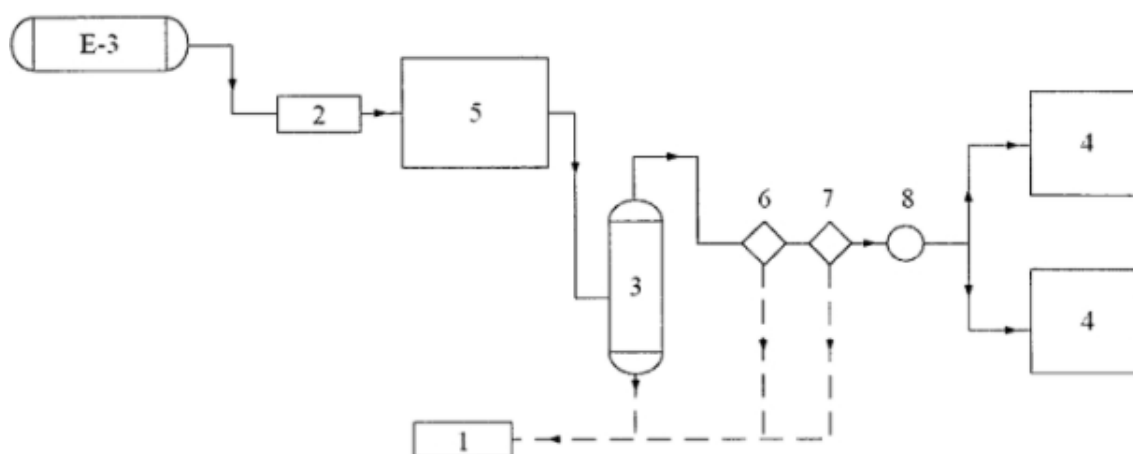
Попутный нефтяной газ (ПНГ) – перспективное направление, которое в отечественной энергетике не используется в полной мере. Основное направление использования – это закачка в пласт с целью поддержания давления в пласте, другое направление – это фракционная переработка ПНГ и, самое не рациональное, это сжигание газа на месте, при этом вся его энергия теряется в окружающей среде.

Также можно использовать ПНГ в выработке электроэнергии и тепловой энергии, либо в качестве газа на магистральных газопроводах. Сжигание газа в ГТУ позволяет обеспечить потребность в электрической энергии предприятия, добывающего ПНГ и тем самым сделать его автономным и независимым от внешних энергоисточников. Работа ГТУ сильно зависит от химического состава топливного газа, это затрагивает как технологический процесс получения электроэнергии, так и конструкцию топливной системы ГТУ [1]. Поэтому нужно очистить газ от двуокиси углерода, сероводорода и механических примесей, влаги и доводится до рабочих параметров давления, температуры и влажности [2]. Это проводится для улучшения показателей, качества и экологичности топлива. Если пропустить эти действия, то неочищенный газ уменьшит срок эксплуатации оборудования и понизит энергетические характеристики.

### Состав попутного нефтяного газа

Компоненты	ПНГ 1	ПНГ 2	ПНГ 3
Метан (СН <sub>4</sub> ), %	76,39	74,33	83,47
Этан (С <sub>2</sub> Н <sub>6</sub> ), %	6,46	7,99	3,1
Пропан (С <sub>3</sub> Н <sub>8</sub> ), %	7,82	8,23	4,78
Изо-Бутан (i-С <sub>4</sub> Н <sub>10</sub> ), %	1,62	1,56	1,14
Н-Бутан (N-С <sub>4</sub> Н <sub>10</sub> ), %	2,63	3,23	2,07
Пентан (С <sub>5</sub> Н <sub>12</sub> ), %	1,2	0,84	1,09
Гексаны и выше (С <sub>6</sub> Н <sub>14</sub> ), %	0,74	0,22	0,65
Двуокись углерода (СО <sub>2</sub> ), %	1,15	1,6	2,77
Азот (N <sub>2</sub> ), %	1,99	2	0,93

В таблице показаны различные составы попутных нефтяных газов, которые встречаются при добыче нефти в Российской Федерации. Перед очисткой попутный нефтяной газ охлаждается. Во время этого все механические примеси концентрируются в циклонах, башнях и прочих аппаратах.



Установка осушки ПНГ:

- 1 – подземная дренажная емкость, 2 – конденсатосборник, 3 – газосепаратор–ресивер, 4 – две блочно-комплектные электростанции на базе микротурбин, 5 – блочная компрессорная станция, 6, 7 – последовательно расположенные фильтры, 8 – узел учета [3]

На рисунке показан необходимый этап очистки газа – осушка, которая является обязательной, так как из-за наличия большого количества влаги затрудняется использование газа. Она применяется для уменьшения коррозионного воздействия на элементы ГТУ, резервуаров и газопроводов.



После осушки газа его можно использовать в камере сгорания ГТУ, хоть его состав несколько отличается от природного газа, но его уже можно использовать в камерах сгорания ГТУ, не теряя энергетические показатели установки. Это позволит повысить экономичность выработки электрической и тепловой энергии и, при наличии качественной очистки, ПНГ не ухудшит экологические показатели.

У ПНГ множество способов применения, начиная от закачки в пласт, заканчивая преобразованием его в другие виды энергии. Сжигание в камере сгорания ГТУ очень перспективно и может быть раскрыто в полной мере в ближайшем будущем.

### **Источники**

1. Marin G., Mendeleev D., Akhmetshin A. Analysis of Changes in the Thermophysical Parameters of the Gas Turbine Unit Working Fluid Depending on the Fuel Gas Composition // Conference: 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon).

2. Марьин Г.Е., Менделеев Д.И. К вопросу подготовки топливного газа для парогазовых энергоблоков // Тинчуринские чтения - 2020 «Энергетика и цифровая трансформация»: матер. Межд. молод. науч. конф. В 3-х т. Т. 2. С. 199-201.

3. Патент РФ № 2014124667/05, 17.06.2014 // Способ дополнительной осушки и очистки попутного нефтяного газа с содержанием сероводорода для дальнейшего его использования в качестве топлива в газогенераторных установках и система для его осуществления / 27.06.2015 Бюл. № 18 / Р.Х. Саитгараев, Ю.Р. Курамшин, А.М. Тахауов, Н.Ф. Хамидуллин.

УДК 620.952; 631.363

## **ПОЛУЧЕНИЕ ТОПЛИВНОГО ГАЗА ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ БИОМАССЫ**

Э.В. Сулейманов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

elnar.sulejmanov@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Г.Р. Мингалеева

Целью работы является изучение перспектив переработки древесных отходов для получения топливного газа. В результате исследований были рассмотрены различные методы получения топливного газа, выбрана установка и изучен метод получения, характерный для нее.

**Ключевые слова:** биомасса, топливный газ, газификация, твердые отходы, древесные отходы.

Термическая переработка путем газификации для получения тепловой энергии является одним из самых известных способов утилизации древесных отходов. Цены на ископаемое горючее, экологические и социальные проблемы являются факторами, способствующими повышению актуальности использования биомассы в качестве топлива. Особенно это касается технологии газификации биомассы, как сырья для производства топливного газа, который может быть востребован многими отраслями промышленности.

Современные методы получения топливного газа имеют ряд присущих для них особенностей. Например, ферментация – это химический или биохимический процесс преобразования биомассы под действием ферментов. Сбраживание – это биохимический процесс, который происходит за счет деятельности различных бактерий, грибов и тому подобное. Сублимация (возгонка) – это процесс перехода вещества из твердого состояния в газообразное, без необходимости перехода в жидкую стадию. Пиролиз – это процесс химического распада сложного соединения на более простые составляющие под воздействием высоких температур (300-850°C) и в отсутствие окислителя [1].

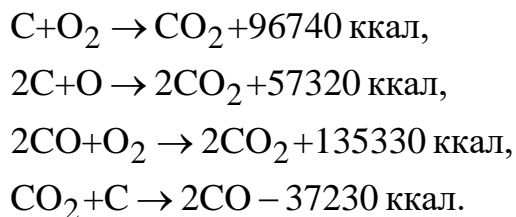
Данные процессы получения биогаза из органического сырья делятся на этапы: предварительная подготовка (сушка) биомассы с использованием небольшой потенциальной энергии тепла; получение биогаза; сжигание биогаза и получение высокопотенциальной тепловой и электрической энергии; переработка вторичных отходов [1].

Самым действующим способом, позволяющим применять разные виды твердого топлива, включая биомассу, считается предварительная газификация для получения газа, используемого, в зависимости от качества, в энергетической установке (сжигается в котле или применяется конкретно для получения энергии в газовой турбине или ДВС) [2].

Процесс газификации считается схожим с процессом сжигания топлива. Различие заключается в том, что в процессе сжигания, топливо полностью окисляется при определенном объеме кислорода, а в процессе газификации протекает частичное окисление топлива за счет низкого содержания кислорода. Принцип действия обоих процессов абсолютно схож – химическое соединение восстановителя (водород, углерод) с окислителем (кислородом) [2].

Газификация топлива осуществляется за счет его нагревания до температуры 1200–1400 °С и более в средах с небольшим количеством окислителя. Вместе с тем, чистейший кислород (кислородное дутье), кислород в составе воздуха (воздушное дутье), кислород, полученный при разделении пара (паровое дутье), или кислород, полученный при совмещенной подаче (паровоздушное дутье) – можно использовать в роли окислителя [2].

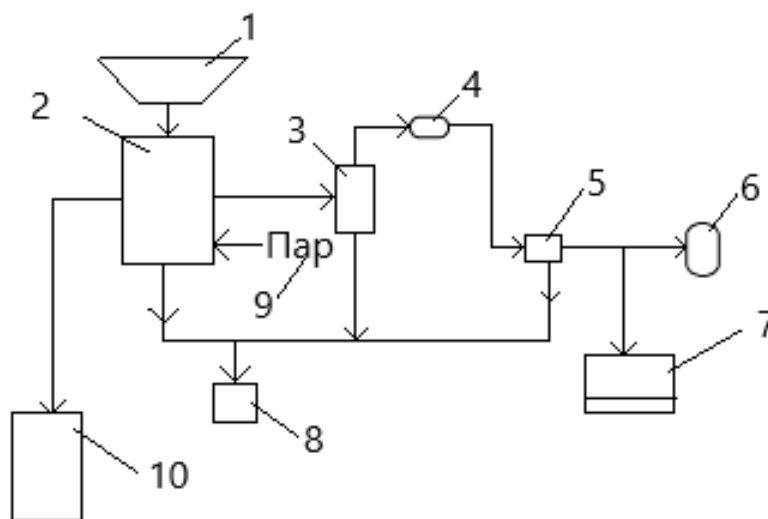
После того, как образовался воздушный газ, когда воздух переходит в газогенератор в качестве дутья, окислительно-восстановительные реакции (на 0,5 моль углерода – 7 кг) протекают по данной схеме:



Реакция восстановления  $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$  считается первостепенной реакцией, описывающей способ получения газа из топлива [2].

После того, как получился воздушный газ, температура области сгорания находится в диапазоне 1500...1600°C, а в зоне восстановления 1055...1250°C. Повышенная температура способствует окончанию реакции восстановления углекислоты [2].

На рисунке рассмотрен метод, который больше характерен для исследуемой темы – получение топливного газа из древесных отходов путем газификации [3].



Установка для получения топливного газа из древесных отходов: 1 – бункер загрузки, 2 – газогенератор, 3 – цилиндрический циклон, 4 – кожухотрубный теплообменник, 5 – осушитель, 6 – ресивер, 7 – отстойник воды, 8 – золоборник, 9 – клапан, 10 – генератор адсорбционного типа

Полученный газ состоит из таких компонентов как:

- горючие газы: водород  $\text{H}_2$  (67,81 %), метан  $\text{CH}_4$  (0,54 %), оксид углерода  $\text{CO}$  (29,5 %) и непредельные углеводороды без смол  $\text{C}_n\text{H}_m$ ;
- негорючие вещества: углекислый газ  $\text{CO}_2$  (1 %), азот  $\text{N}_2$  (1,15 %), вода  $\text{H}_2\text{O}$  [3].

Таким образом, при переработке древесных отходов, может быть получен газ, который целесообразно использовать в котлах или ГТУ после некоторой модернизации.

### **Источники**

1. Рахманкулов Д.Л., Вильданов Ф.Ш, Латыпова Ф.Н., Чанешев Р.Р., Ишбулатов Р.Ф. Современные методы газификации биомассы // Башкирский химический журнал. 2010. С. 2-7.

2. Пугач Л.И., Серант Ф.А., Серант Д.Ф. Нетрадиционная энергетика-возобновляемы источники, использование биомассы, термохимическая подготовка, экологическая безопасность. Н.Новгород: Издательство НГТУ. 2006, 347 с.

3. Сафин Р.Г., Альмухаметов Р.С., Альджбури А.Х.Х. Установка для получения синтез-газа из древесных отходов // Лесной вестник - Forestry Bulletin. 2017. Т. 21. № 2. С. 61–64.

УДК 662.76

## **МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГАЗОТУРБИНЫХ УСТАНОВОК**

Р.Р. Султанова<sup>1</sup>, И.С. Токмачёва<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань,

<sup>1</sup>rufinasultanova13@gmail.com, <sup>2</sup>itokmacheva@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Н. Маслов

Рассмотрены современные направления повышения эффективности работы газотурбинных установок с помощью циклов с промежуточным охлаждением и регенерацией. Представлены процессы таких циклов газотурбинной установки (ГТУ), как введение воды на вход воздушного компрессора, регенеративный подогрев циклового воздуха теплом.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка, регенеративный подогрев, выхлопные газы, коэффициент полезного действия.

Газотурбинные установки в современной энергетической отрасли - это высокоманевренные агрегаты, и именно вследствие этого их используют в качестве комбинированных частей энергоэффективных установок. Для повышения энергоэффективности стационарных ГТУ с незамысловатой тепловой схемой, где коэффициент полезного действия (КПД) ничтожно мал, внедряют новые, более результативные и общедоступные методы для его совершенствования.

В состав ГТУ входят три главных элемента: воздушный компрессор, камера сгорания и газовая турбина (см. рисунок). В роли рабочего тела выступает неконденсирующийся газ, но чаще всего применяются продукты сгорания. Компрессоры и турбины в ГТУ представляют собой машины, в которых передача механической энергии рабочему телу осуществляется в полном объеме во время взаимодействия потока газа с лопатками, установленными на вращающемся роторе.

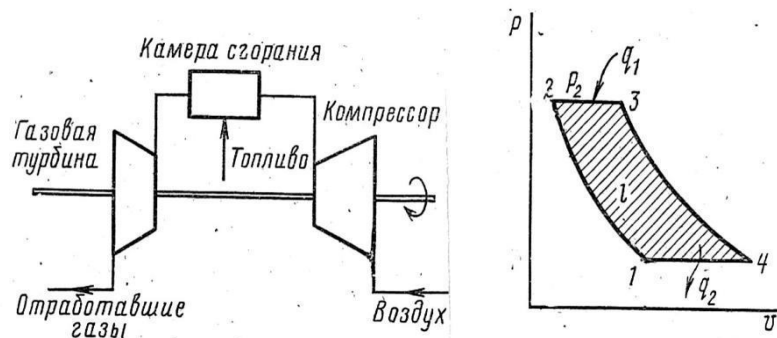


Схема работы и цикл ГТУ

Решение ряда задач, направленных на повышение эффективности работы газотурбинных установок, требуют разработку новейших конструкций и усовершенствование методов очистки осевых компрессоров.

Один из способов увеличения производительности работы ГТУ — это введение воды на вход воздушного компрессора и пара в камеру сгорания. С помощью преобразования количества конденсата водяных паров регулируются температура смеси пара и газа в контактном теплообменном аппарате камеры сгорания [1].

После работы данной смеси ее температуру понижают в парогенераторе–утилизаторе, затем выводят в контактный конденсатор водяных паров, где происходит процесс охлаждения активной насадки специально подготовленной водой, подаваемой в тепловую сеть, для того чтобы восполнить потери теплоносителя [2].

Кроме того, существует способ, заключающийся в регенеративном подогреве циклового воздуха теплом при помощи уходящих газов турбины. В теории подразумевается, что воздух доводится до температуры выхлопных газов, но в этом случае регенеративный теплообменник должен иметь бесконечно большую поверхность передачи тепловой энергии от более горячего тела к менее горячему.

Недостатки этого способа заключаются в регенераторской металлоемкости, которая превышает общее количество расходуемого металла газовой турбины и компрессора, а также в сложности изготовления [3].

В дополнение ко всему вышесказанному хочется отметить, что на увеличение КПД газовых турбин влияют такие факторы, как повышение температуры и степени сжатия рабочего тела на входе в ГТУ, а также переработка тепла выходящих газов в комбинированных газотурбинных установках.

В первом факторе ограничителями являются функциональные особенности материалов, а во втором факторе уже повышение сложности тепловой схемы и обслуживание.

### **Источники**

1. Гиршфельд В.Я. Тепловые электрические станции. М.: Энергия, 1973.
2. Полетаевкин П.Г. Как улучшить технико-экономические показатели ГТУ. М.: Газовая промышленность, 1984.
3. Александров А.А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок. М.: Издательский дом МЭИ, 2006.

УДК 666.76

## **РАЗРАБОТКА УЗЛА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННОГО МАСЛА**

В.М. Теплов<sup>1</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>slava.teplov.2014@mail.ru, <sup>2</sup>laptserga@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. С.А. Лаптев<sup>2</sup>

Проведены технологические расчеты для оценки возможности использования центробежной очистки масла в установке с рециркуляцией без дополнительного насоса.

**Ключевые слова:** регенерация, очистка, отработанное масло, маслоочистительная установка с рециркуляцией.

Регенерация отработанных моторных и турбинных масел является важным фактором, влияющим на экономию средств при техническом обслуживании оборудования, а также способно существенно сократить вредные выбросы в окружающую среду при его утилизации.

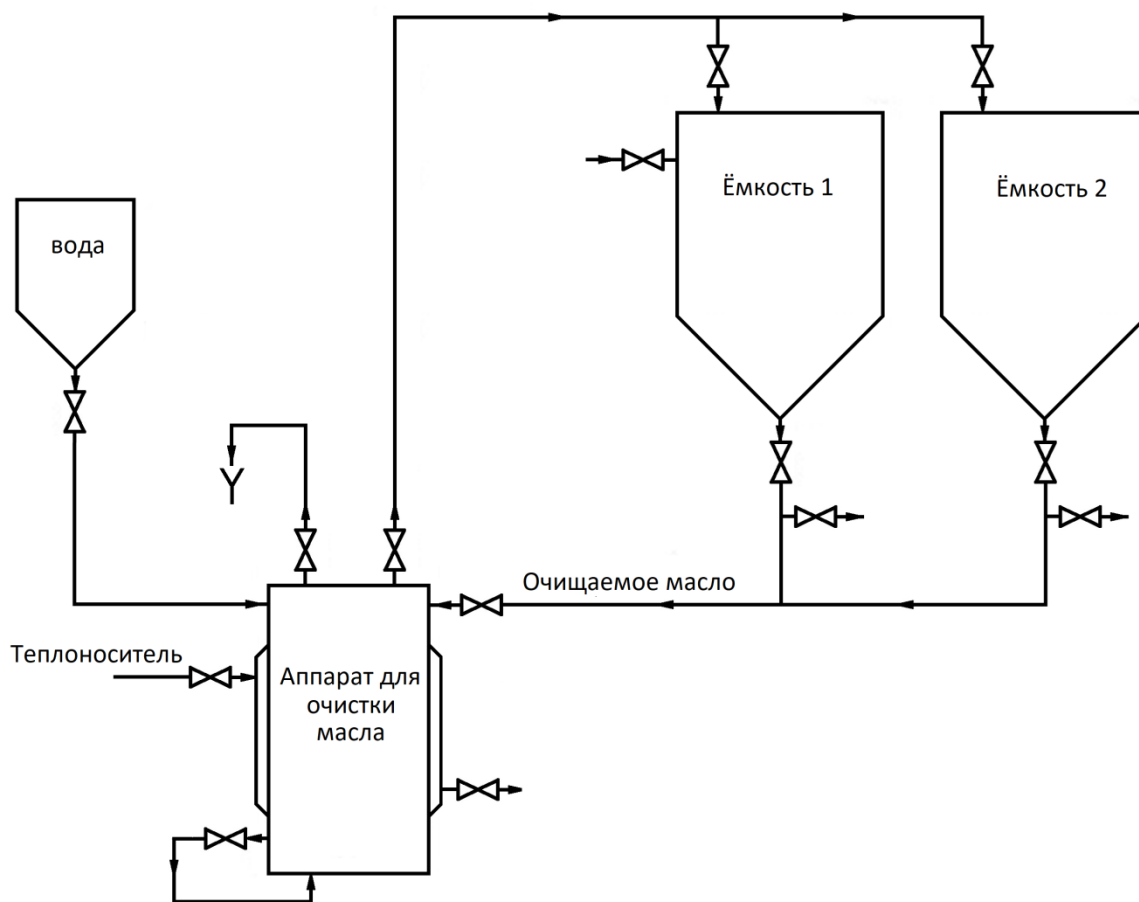
Анализ способов регенерации моторных и турбинных масел показывает, что сокращение времени процесса регенерации можно при использовании центробежных аппаратов [1, 2].

Несмотря на некоторые недостатки, аппараты центробежного типа можно использовать для организации в них комбинации различных избирательных зон для удаления отдельных вредных примесей при процессе регенерации масла [3].

В данном докладе рассмотрен вопрос о возможности организации непрерывной центробежной очистки с использованием рециркуляции очищаемого масла.

Для избирательного удаления из отработанного масла водорастворимых кислот, а также солей органических кислот может быть использован способ промывки масла подогретой водой.

Организация процесса промывки масла с использованием центробежного аппарата может быть осуществлена следующим образом (см. рисунок). Отработанное масло и вода самотёком поступают в зону аппарата, предназначенную для интенсивного перемешивания с одновременным подогревом теплоносителем через внешнюю стенку аппарата.



Технологическая схема установки регенерации отработанного масла

Подогретая маслосодержащая эмульсия подаётся в зону центробежного разделения, а затем заборными трубками, соответственно из отсеков легкой и тяжелой фракций за счет скоростного напора выводится из аппарата. Очищаемое масло направляется во вторую буферную ёмкость, а вода содержащая извлеченные примеси – на утилизацию.

На центробежное разделение водомасляной эмульсии на составляющие компоненты затрачивается определенное время, поэтому между зонами перемешивания и центробежного отстаивания должны быть регулирующие расход элементы.

В отводящем патрубке должен создаваться необходимый перепад давления, способный обеспечить возврат очищаемого масла на высоту установки входящих патрубков в буферной емкости.

Во время работы аппарата должен соблюдаться баланс подаваемого самотеком масла и отводимого за счет скоростного напора, создаваемого в отводящем патрубке.

Расходы подаваемого и отводимого масла могут быть найдены с использованием уравнения Бернулли для полного напора.

При определении скоростей в подводящих и отводящих патрубках с использованием уравнения Бернулли возникает неопределенность, так как коэффициент трения при движении масла по трубопроводам зависит от режима течения (ламинарный или турбулентный). Данная неопределенность разрешалась численным методом с дополнительной проверкой критерия Рейнольдса.

При проведении расчетов варьировались такие параметры как высота установки буферных ёмкостей, фактор разделения центрифуги, температура очищаемого масла, диаметры подводящих и отводящих трубопроводов.

Было показано, что при использовании промывки отработанного масла с использованием центробежного аппарата, содержащего зоны перемешивания и разделения возможно осуществить регенерацию отработанного масла с режимом рециркуляции без дополнительного насоса.

### **Источники**

1. Шашкин П.И., Брай И.В. Регенерация отработанных нефтяных масел. М.: Химия, 1970. 304 с.
2. Гимбицкая Л.А., Гимбицкий В.А. Способы очистки моторных масел Тенденции развития науки и образования. 2021. №79-2. С. 31-34.
3. Набиуллина М.Ф., Лаптев С.А. Разработка рациональной компоновочной схемы установки регенерации отработанного масла // В сб.: Тинчуринские чтения - 2020 «Энергетика и цифровая трансформация»: матер. Межд. молод. науч. конф. В 3-х т. Т. 2. С. 204-207.



## СВЕРХЭКОНОМИЧНАЯ ДВИГАТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА

А.М. Халиева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань

adeliy2000@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Н. Маслов

В тезисе предложена схема для повышения КПД газотурбинных установок на базе двигателя НК-36. Предлагается новая энергосберегающая технология, основанная на применении теплового насоса (ТН) в цикле тепловых двигателей с регенерацией тепла. Показано направление, получившее в настоящее время широкое распространение, утилизация тепла в паротурбинных установках.

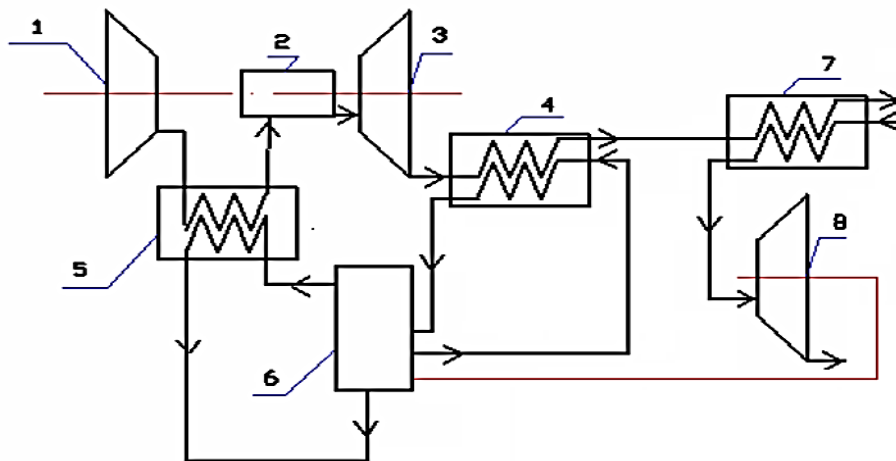
**Ключевые слова:** газотурбинная установка, регенерация тепла, регенерация тепла.

Предлагаем повысить эффективность регенерации тепла за счет применения теплового насоса на примере стационарной газотурбинной установки. Такие установки нашли широкое применение при транспортировке природного газа по трубопроводам, с применением газотурбинных установок (ГТУ). Отличительной особенностью данного типа привода является КПД цикла, не превышающий у лучших отечественных двигателей 40 % [1]. При стоимости газа для зарубежных покупателей 2000 долл. за 1000 м<sup>3</sup> газа, каждый двигатель типа НК-36 (рис. 1) из семи, установленных на КС, потребляет природного газа примерно на 1000 млн. долл. в год. Современным трендом являются двигатели комбинированных циклов. Рабочий цикл двигателя здесь можно разделить на два подцикла: генераторный, служащий для выработки энергии, передаваемой рабочему телу, участвующему в основном цикле, и основной, в котором подведенная энергия превращается в работу двигателя.

Регенерация тепла выхлопных газов применяется в настоящее время на 25 % КС [2]. Однако эффективность применяемой регенерации низка, кроме этого, она неприменима на современных ГТУ в связи с малым перепадом температур рабочего тела за компрессором и турбиной.

Другое направление, получившее в настоящее время широкое распространение, утилизация тепла в паротурбинных установках [3]. В работе [3] сообщается, что установка парового привода на КС с утилизацией тепла за ГТУ повысила КПД системы на 10 % при значительных капитальных вложениях.

Техническая сущность и принцип действия предложенной газотурбинной установки с регенерацией тепла поясняется схемой на рисунке.



Принципиальная схема ГТУ

Газотурбинный двигатель содержит компрессор 1, камеру сгорания 2, турбину 3, подключенный к выходу из турбины теплообменник-испаритель 4, регенеративный теплообменник 5, тепловой насос 6, вторичный теплообменник-испаритель 7 и паровую турбину 8.

Высокотемпературное рабочее тело ГТУ из турбины 3 поступает в теплообменник-испаритель 4, где отдает тепло жидкому теплоносителю.

В теплообменнике-испарителе 4 жидкий теплоноситель испаряется и нагревается до температур, близких температуре рабочего тела на выходе турбины 3. Далее поток пара из теплообменника-испарителя 4 и регенеративного теплообменника поступает в тепловой насос 6. В тепловом насосе 6 теплоноситель повышает свою температуру. Горячий поток, выходящий из теплового насоса, поступает в теплообменник 5, где отдает свое тепло рабочему телу, идущему из компрессора 1 к камере сгорания 2. Механическая энергия к тепловому насосу 6 подводится за счет утилизации оставшегося тепла выхлопных газов в теплообменнике-испарителе 7 паровой турбины 8. Наиболее простым оказался вариант парового компрессорного теплового насоса, в качестве теплоносителя которого используются жидкометаллические теплоносители, широко применяемые в энергетике [5]: калий, натрий, литий, ртуть.

Предварительное расчетное исследование работы теплового насоса по стандартным методикам, изложенным в литературе [4–7], показал, что наименьшие затраты подводимой механической работы при нагреве воздуха за компрессором на 20 °С получаются при использовании в качестве теплоносителя жидкометаллические теплоносители: тепловой коэффициент ТН (по аналогии с холодильным коэффициентом холодильника) для натрия равен 3,5, то есть количество передаваемого тепла в 3,5 раза выше подведенной механической работы.

Уместно провести сравнение данной системы с предложенной к широкому внедрению системой утилизации тепла на основе паровой турбины (ПТ). В работе [3] сообщается, что установка парового привода на КС с утилизацией тепла за ГТУ повысила КПД системы на 10 % при значительных капитальных вложениях.

### **Источники**

1. Ольховский Г.Г. Газотурбинные и парогазовые установки в России // Теплоэнергетика. 1999. №1. С. 2-10.

2. Седых А., Шайхутдинов А. [и др.] Использование газотурбинного привода в газовой промышленности // Газотурбинные технологии. 2000. Июль-Август. С. 3-7.

3. Белоусенко И., Лезнов А. и др. От энергетики газовой промышленности в энергетику России // Газотурбинные технологии. 2000. Июль-Август. С. 8-11.

4. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин. Л., Машиностроение (Ленинград. отд.), 1976. 464 с.

5. Теплотехнический справочник; изд. 2-е, перераб.; под ред. В.Н. Юренева и П.Д. Лебедева. Т.1. М.: Энергия, 1975. 744 с.

6. Арнольд Л.В., Михайловский Г.А., Селиверстов В.М. Техническая термодинамика и теплопередача: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1979. 446 с.

7. Шакиров И.Э., Галяутдинов Р.М. Сравнительный анализ мест установки тепловых насосов в энергетике // В сб.: Тинчуринские чтения - 2021 «Энергетика и цифровая трансформация»: матер. межд. моло. науч. конф. В 3-х т. Т. 2. С. 205-208.

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛОБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

В.Ф. Халикова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Khalikova.vlada@mail.ru

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Е.Г. Шешуков

В статье представлены виды современных теплообменных аппаратов, используемые в различных сферах. Их структура и принцип действия зависит от места применения и использования. Широко распространение теплообменники получили в энергетической инфраструктуре. Была представлена схема одного из теплообменных аппаратов, применяемого в энергетике.

**Ключевые слова:** теплообменные аппараты, теплообменник, энергетика, промышленность, принцип действия.

Теплообменные аппараты (ТА) широко применяются в энергетической инфраструктуре, коммунальном хозяйстве и различных отраслях промышленности. Теплообменник предназначен для обмена теплом двух сред с разной температурой. Существующие ТА подразделяется на два основных вида: поверхностного и смешивающего, которые в последующем делятся на различные подвиды, представленные на рис. 1. Определения двух основных типов ТА исходят из самого наименования. Обмен теплом в поверхностном теплообменнике происходит через так называемую перегородку или стенку, а в смешивающем среды напрямую взаимодействуют и соприкасаются друг с другом.

С каждым годом потребность человека в новом более мощном оборудовании возрастает, с целью обеспечения себя благосостоянием. В последствии чего возникает необходимость наращивать мощности энергетическим систем для обеспечения электрической энергией. Как следствие, требуется улучшение КПД отдельных компонентов станций и увеличение их мощностей. Например, теплообменные аппараты подверглись ряду изменений такие, как применение турбулизаторов, закрутка потока в трубах с помощью винтовых вставок, каналы сложной формы, лопаточные завихрители, расположенные на входе или вдоль всей трубы [1].

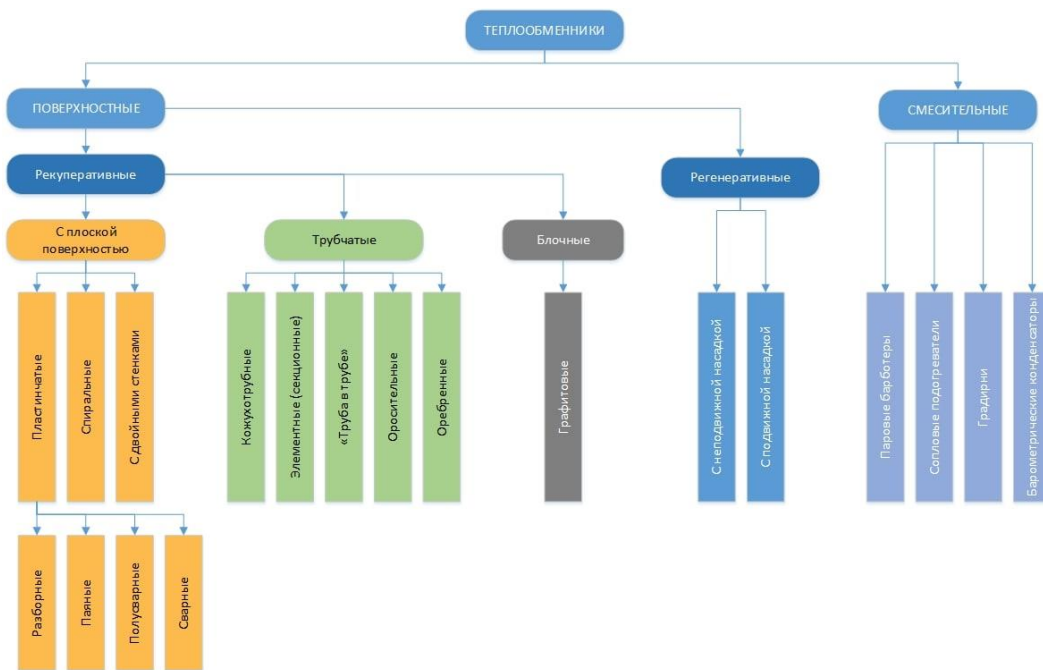


Рис. 1. Виды теплообменных аппаратов

Существуют различные современные теплообменники. Их вид и особенности строения и функционирования зависят от сферы деятельности человека, в которой они применяются. Широкое применение ТА получили в энергетике. Например, регенеративные подогреватели, которые предназначены для подогрева питательной воды и конденсата паром из отборов турбины, и сетевые, используемые в качестве подогрева сетевой воды для потребителей, которая поступает к ним в виде горячего водоснабжения и отопления.

Контактные теплообменники, используемые на ТЭС для подогрева жидких сред острым паром и для охлаждения пара с турбины в конденсаторе, имеют ряд преимуществ и недостатков. По сравнению с поверхностными подогревателями они имеют более низкую стоимость, простоту в эксплуатации и в конструкции, но их главным недостатком является их применение, они сугубо ограничены в местах, где разрешено смешивание различных взаимодействующих сред. Например, использование таких ТА категорически запрещено на АЭС, так как теплоноситель, охлаждающий реактор, имеет радиацию [2].

Не менее важным на ТЭС теплообменником является испаритель поверхностного типа. Принцип его действия заключается в следующем: первичный пар попадет в греющую секцию, далее поступает в межтрубное пространство, где конденсируется на наружной поверхности труб, в дальнейшем конденсат стекает на нижнюю трубную доску греющей секции и отводится из неё. Схема испарителя поверхностного типа представлена на рис. 2 [3].

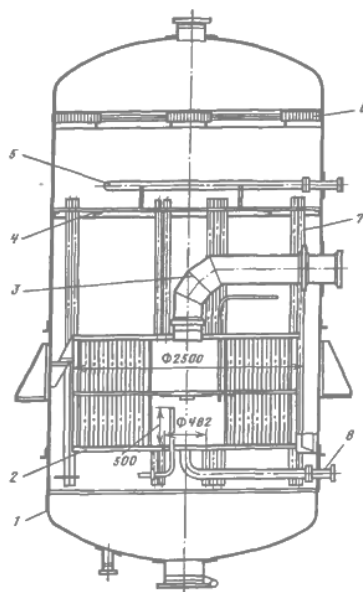


Рис. 2. Общий вид испарителя поверхностного типа

В атомной энергетике ТА занимают неотъемлемую часть в генерации электрической энергии. Тепло выделяющиеся в процессе работы ядерного реактора служит для подогрева воды во втором контуре ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200. Используемые ТА поверхностного типа подогревают воду, поступающую с конденсатора, которая подаётся в парогенератор. Росэнергоатом представил новый проект по генерации водорода паровой конверсией. Смесь метана и пара подогревается в высокотемпературном теплообменнике поверхностного типа за счёт работы ВТГР (высокотемпературный газовый реактор).

Таким образом, наибольший интерес в сфере энергетике и хозяйственной деятельности человека получили струйные аппараты-теплообменники. Данные ТА имеют несущественные капитальные расходы и эксплуатационные издержки по сравнению с другими поверхностными подогревателями.

### Источники

1. Кутилов В. Современные теплообменники // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2010. Т. 1. № 97. С. 52-56.
2. Назмеев Ю.Г., Лавыгин В.М. Теплообменные аппараты ТЭС: учеб. пособие для вузов. М.: МЭИ, 1988. 288 с.
3. Саевич Н.П., Калишук Д.Г., Козловский В.И. Теплообмен и гидродинамика в струйном циркуляционном контактном подогревателе // Труды БГТУ. Сер. 2. Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2021. Т. 1. № 241. С. 108-113.

## ПРИМЕНЕНИЕ АБХМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КПД В ГТУ

А.А. Хасанов<sup>1</sup>, К.С. Сорокин<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>hasanov2015@gmail.com, <sup>2</sup>kostya.sorokin@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Р. Ахметшин

В статье рассматривается способ повышения КПД газотурбинной установки путем применения абсорбционных холодильных машин для использования остаточного тепла цикла ГТУ.

**Ключевые слова:** абсорбционных холодильных машин, АБХМ, КПД, ГТУ, температура, тепловая энергия.

В современном мире главной целью разработок в сфере энергетики является повышение эффективности и экономичности, то есть КПД энергетических установок. Рассмотрим факторы, влияющие на производительность и способы ее повышения для газотурбинных установок (ГТУ). Одним из методов достижения высокого КПД является применение абсорбционных холодильных машин (АБХМ).

АБХМ является холодильной установкой испарительного типа, в которой во время процесса абсорбции хладагента происходит удаление из испарителя его паров. Отделение абсорбента от хладагента происходит путем применения дистилляции или ректификации. Принцип абсорбции дает возможность отказаться от компрессора, а в случае установок малой производительности обойтись без движущихся элементов, движение вещества в таком случае осуществляется за счет тепловых эффектов. Главным особенностью АБХМ, который используется для повышения КПД, является то, что для работы он напрямую использует тепловую энергию [1].

Несмотря на все преимущества парогазовых установок по сравнению с паротурбинными (быстрое строительство, высокие маневренность и КПД), также имеются и недостатки, в частности значительное снижение производства электроэнергии в теплый период. КПД газовой турбины обратно зависит температуре (см. рисунок).

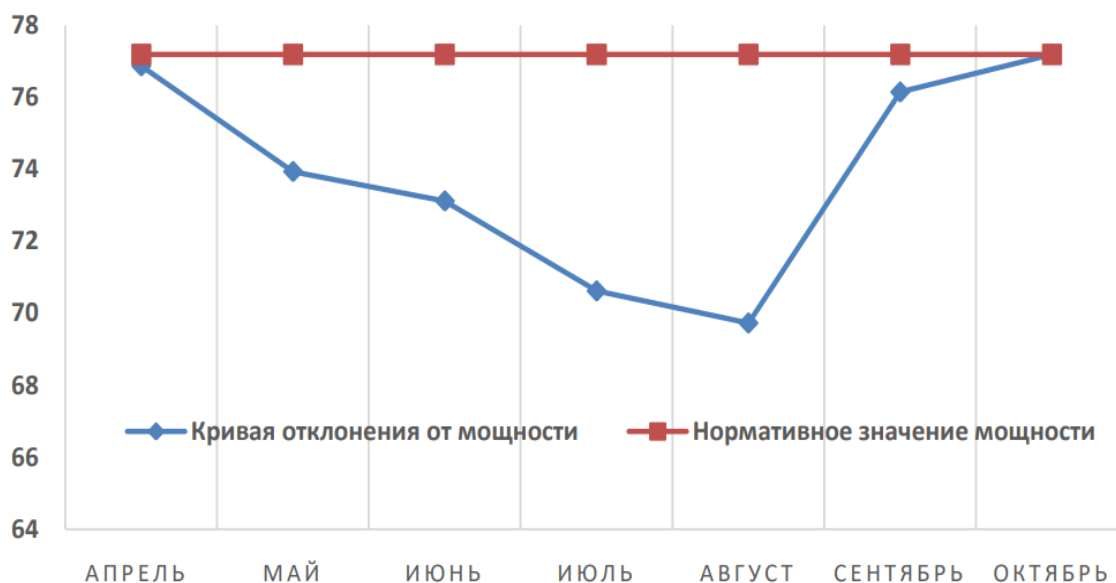


График отклонения мощности от нормы в теплый период

Такое значительное снижение мощности негативно сказывается по ряду причин, таких как нарушение диспетчерского графика, неэффективный расход топлива и др.

Для снижения влияния температуры окружающего воздуха в схему ГТУ включают АБХМ для предварительного охлаждения воздуха. Такое расширение технологического процесса позволяет повысить эффективность всей установки путем использования части остаточного тепла уходящих газов для работы холодильной установки [2]. Хладоноситель, циркулирующий через теплообменник КВОУ, охлаждается в испарителе абсорбционной холодильной машины. Во время работы АБХМ расход электрической энергии незначителен и затрачивается только для работы насосов, а главным ресурсом для выработки холода является остаточная тепловая энергия. В КВОУ протекает процесс подготовки воздуха перед подачей в компрессор, а именно его охлаждение и фильтрация. Конденсат, образующийся при охлаждении воздуха, является химически чистой обессоленной водой, которая является необходимым ресурсом для станции, и поэтому собирается для дальнейшего расхода на собственные нужды электростанции. После компрессора, воздух попадает в камеру сгорания, где смешивается с топливом, после горячая смесь газов поступает в газовую турбину [3].



### Источники

1. Гафуров А.М. Способ преобразования сбросной низкопотенциальной теплоты ТЭС // Вестник КГЭУ. 2015. №4 (28). С. 28-32.
2. Котович Й., Иов М., Бжечек М. Характеристики ультрасовременных электростанций комбинированного цикла // Энергетика. 2015. №92. С. 197-211.
3. Калимуллина Д.Д., Гафуров А.М. Новые системы охлаждения конденсаторов паровых турбин ТЭС. // Инновационная наука. 2016. № 3-3. С. 100-101.

УДК 661.9

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГАЗА НА КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЯХ

А.Р. Хизбуллин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

khizbullin-artem@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. С.С. Тимофеева

В статье рассмотрена возможность применения технологических газов – газообразных отходов нефтепереработки на компрессорной станции. При использовании исследуемого состава газа средняя годовая пропускная способность газопровода составляет 95,1 млн м<sup>3</sup>/сут. В работе также определена пропускная способность газопровода в течении года для г. Казани. В результате расчетов для дальнейших исследований был выбран агрегат ГПА-16 «Волга», для которого будут определяться расход топливного газа для ГПА, фактические значения производительности, а также приведенные характеристики нагнетателя и КПД установки.

**Ключевые слова:** технологический газ, компрессорные станции, газоперекачивающий агрегат, газотурбинная установка, транспортировка.

Технологические газы, или газообразные отходы, которые образуются в процессах добычи и переработки нефти, в настоящее время не используются или служат альтернативой традиционному топливу для энергетических установок [1]. Также перспективным направлением применения таких газов является использование на компрессорных станциях. Неиспользованные отходы нефтепереработки оказывают неблагоприятное воздействие на окружающую среду [2].

В России на газопроводах используются центробежные нагнетатели с различными типами газотурбинных приводов. При этом диапазон мощностей газоперекачивающих агрегатов (ГПА) с газотурбинным приводом составляет от 2 до 25 мВт, а КПД – 24–35 % [3, 4].

Для оценки возможности применения технологических газов, образующихся при переработке нефти, необходимо рассмотрение его характеристик относительно показателей природного газа. В качестве объекта исследования рассматривается состав отходящих газов глубокой переработки нефтяных остатков, который представляет собой следующую смесь газообразных компонентов (% об.):  $H_2O$  – 0,48;  $CO$  – 0,6;  $CO_2$  – 0,1;  $H_2S$  – 0,00265;  $H_2$  – 49,57;  $CH_4$  – 30,697;  $C_2H_4$  – 14,88;  $C_3H_4$  – 0,01;  $C_3H_8$  – 2,66;  $iC_4H_{10}$  – 0,54;  $nC_4H_{10}$  – 0,46. Теплота сгорания газа составляет 21,7 МДж/м<sup>3</sup>. По своему составу и физико-химическим свойства газ соответствует требованиям, предъявляемых к качеству газов, подаваемых в газопроводы.

Для выбора и расчета конкретного ГПА основным критерием является пропускная способность газопроводов, которая определяется с учетом требований стандартов, при этом скорость потока газа зависит от давления, температуры, сжимаемости газа и диаметра трубопровода [5].

Была рассчитана пропускная способность газопровода в течении года и определены затраты мощности при условии использования рассматриваемого состава газа [5]:

$$Q = 105,1 \cdot 10,2 \cdot 10^{-6} \cdot D^{2,5} \cdot \sqrt{\frac{P_H^2 - P_K^2}{Y \cdot \Delta_B \cdot T_{CP} \cdot Z_{CP} \cdot L}}, \quad (1)$$

где  $Q$  – пропускная способность, млн м<sup>3</sup>/сут.;  $105,1 \cdot 10,2 \cdot 10^{-6}$  – переводной коэффициент;  $D$  – внутренний диаметр газопровода, мм;  $P_H$  и  $P_K$  – давление газа соответственно в начале и конце участка газопровода, МПа;  $Y = 0,009$  – коэффициент гидравлического сопротивления;  $\Delta_B$  – относительно плотность газа по воздуху;  $T_{CP}$  – средняя температура по длине газопровода, К;  $Z_{CP}$  – средний по длине газопровода коэффициент сжимаемости газа;  $L$  – длина участка газопровода, км.

Диаметр условного прохода был принят 125 мм, температура воздуха принималась для г. Казань. Средняя пропускная способность при транспортировании газа на расстоянии 100 км составила 95,1 млн м<sup>3</sup>/сут. Результаты расчета представлены на рисунке.



### Годовая пропускная способность газопровода

Как видно, из графиков, пропускная способность газопровода сильно меняется в течении года. Изменчивость нагрузки газопровода оказывает влияние на потребляемую мощность ГПА. Известно, что при изменении производительности газопровода на 1,0 % потребляемая мощность КС изменится на 3,2–3,5 % [6]. В результате расчетов был выбран агрегат ГПА-16 «Волга» в количестве 3 шт, который предназначен для транспортировки природного и путного нефтяного газа. Номинальная мощность ГПА составляет 16 МВт, производительность нагнетателя – 33–37 млн м³/сут.

В дальнейшей работе планируются исследование выбранного типа ГПА при использовании в качестве топлива технологического газа. В исследованиях будут определены расход топливного газа для ГПА, фактические значения производительности, а также приведенные характеристики нагнетателя и КПД установки.

### Источники

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия вузов. 2021. Т. 23. №3(158). С. 84-92.

2. Дремичева Е.С., Эминов А. Перспективы использования загрязненного нефтепродуктами торфа в энергетике // Вестник КГЭУ. 2021. Т. 13. № 2 (50). С. 133-141.

3. Синкевич Е.М. Альтернативное топливо для газотурбинных двигателей класса малой мощности // Турбины и дизель. 2013. С. 40-41.

4. Gorbiychuk, M., Zamikhovska, O., Zamikhovskyi, L., Zikratyi, S., Shtaier, L. Evaluation of dynamic properties of gas pumping units according to the results of experimental researches // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. №2 (98). С. 73–81.

5. Козаченко А.Н. Эксплуатация компрессорных станций магистральных газопроводов. М.: Нефть и газ, 1999. 463 с.

6. Абрамовский А.А. Влияние технологических параметров магистрального газопровода на показатели работы компрессорной станции // Энергетика. Известия вузов и энергетических объединений СНГ. 2014. С. 87-92.

УДК 621

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТГ-16М

И.Ф. Чичи

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

txitxi2019@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Б.М. Осипов

При обучении студентов навыкам имитационного проектирования необходимо проведение расчетов основных геометрических характеристик ГТУ. В работе помимо трехмерной модели ГТУ приводится также и алгоритм расчета исследуемой турбины ТГ-16М в АС ГРЭТ.

**Ключевые слова:** трехмерные технологии моделирования; имитационная модель; моделируемая система, математическая модель газовой турбины.

На сегодняшний день сфера энергомашиностроения активно развивается. Естественно, что программы обучения в высших учебных заведениях также совершенствуются регулярно. На основании этих данных было принято решение создать трехмерную геометрическую модель газотурбинную установки ТГ-16М с использованием, как инструментов проектирования, так и математического моделирования характеристик ГТУ.

Как показала практика, студенты энергомашиностроения высших учебных заведений предпочитают реализовывать свои умения на практике, а расчеты и исследования выполнять, основываясь на наглядных примерах, изучая тем самым связь технических и математических характеристик.

Важно отметить, что трехмерную геометрическую модель ГТУ ТГ-16М можно было рассмотреть во всех плоскостях, в разных масштабах, а также в разных разрезах (рис. 1, 2) [1].

Собранный прикладной опыт использования 3D моделирования в конструировании и исследовании трудоемких промышленных систем, таких как ГТУ, доказывает высокую действенность используемого метода при принятии решений, учитывающих множество взаимодействующих факторов. Например, нелинейность, прерывистость процессов функционирования непростой технической системы. Кроме того, применение моделирующего метода расширяет спектр решаемых задач, сопряженных с разработкой и принятием решений в условиях неопределенности и недостатка информации [2].

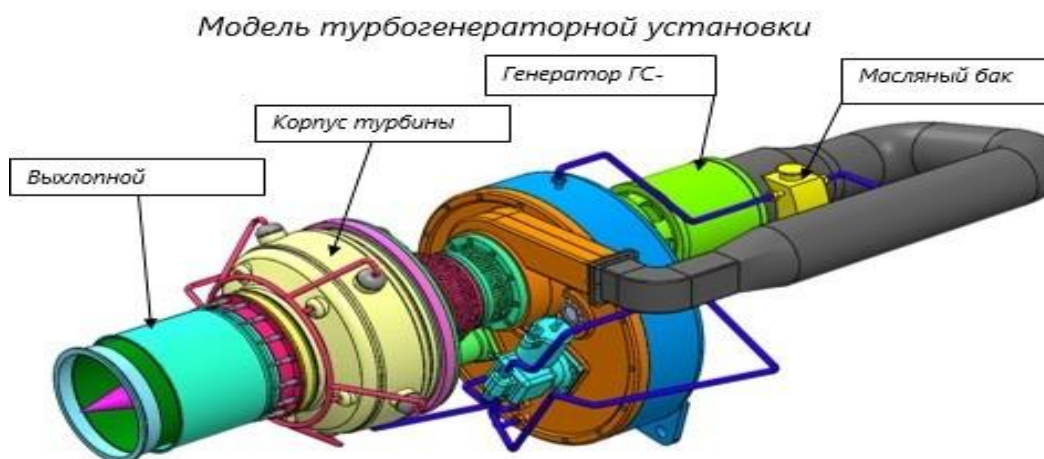


Рис. 1. Разработанная трехмерная модель газотурбинной установки ГТУ ТГ-16М в программе SolidWorks2018

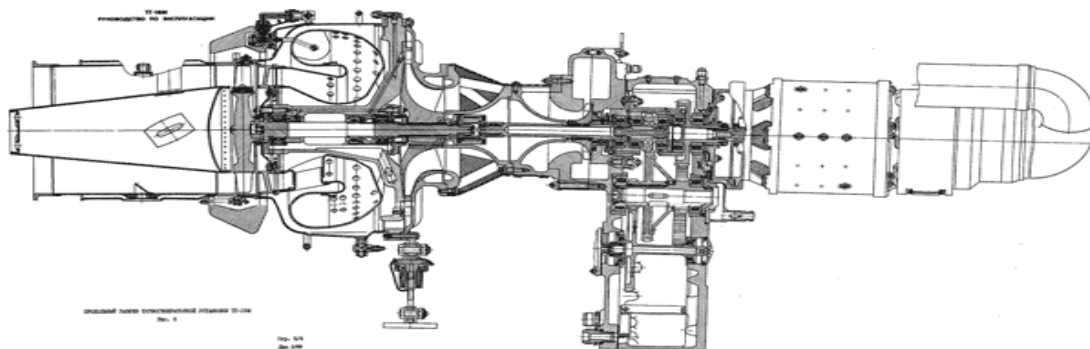


Рис. 2. Чертеж турбины ТГ-16М

Конструкция 3D модели ГТУ для проведения лабораторных работ охватывает структурный обзор имитируемой системы и разработку многофункциональной модели, отражающей динамические характеристики имитируемой системы. Одновременно с построением трехмерной модели создавалась математическая модель ТГ-16М.

Математическая модель создавалась с помощью современного программного обеспечения «АС ГРЭТ» [3], которое помогло эффективно разработать необходимые данные для 3D-модели по следующему алгоритму:

1. Назначение имени проекта.
2. Формирование функциональной схемы.
3. Ввод данных для каждого МУ и в целом по двигателю согласно паспортным данным.
4. Формирование закона управления.
5. Формирование программы управления.
6. Формирование выходных данных для ТГ-16М согласно заданию.
7. Выполнение теплового расчета ТГ-16М (рис. 3).

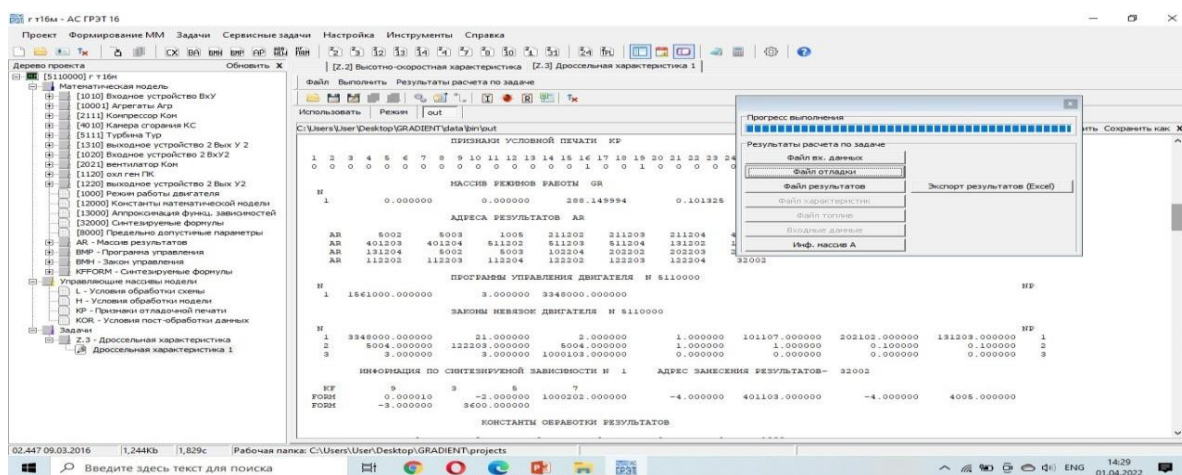


Рис. 3. Результаты «теплового» расчета ТГ-16М

Таким образом, актуальность данной работы определяется необходимостью создания условий для развития и самореализации студентов в процессе обучения, с помощью внедрения трёхмерных моделей ГТУ в процессе обучения. Кроме того, введение 3D технологий в процесс обучения, может влиять на степень готовности к работе с использованием специального программного обеспечения для проектирования.

### Источники

1. Чичи И.Ф., Осипов Б.М. Применение технологии трехмерного моделирования ГТУ в образовательном процессе студентов энергомашиностроения //Модернизация современного образования: анализ опыта и тенденций: сб. статей Межд. науч.-практ. конф. Петрозаводск: Новая Наука, 2021. С. 347-357.

2. Константинов Е.В., Тимченко В.С. Применение имитационного моделирования в учебном процессе транспортного ВУЗа // Мир науки. Педагогика и психология. 2015. №3. С. 24.

3. Титов А.В., Осипов Б.М. Инструментальная среда для исследования газотурбинных установок на математических моделях // Вестник КГЭУ. 2017. №4 (36). С. 17-21.

УДК 621-313.3

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАЛОГАБАРИТНЫХ ГАЗОТУРБИНЫХ УСТАНОВОК МОЩНОСТЬЮ ДО 100 КВТ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РЕКУПЕРАТОРОВ**

В.Ч. Чу<sup>1</sup>, М. Басати Панах<sup>2</sup>, М.А. Лаптев<sup>3</sup>

ФГАОУ ВО «СПбПУ», г. Санкт Петербург

<sup>1</sup>turbotechvn95@gmail.com, <sup>2</sup>mehdibp.energy@gmail.com, <sup>3</sup>mikhail.laptev@outlook.com

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. В.А. Рассохин

В статье представлены результаты расчетных исследований тепловой схемы малогабаритных газотурбинных установок (МГТУ) мощностью до 100 кВт с регенерацией. Применение новых жаропрочных материалов станет важной частью совершенствования МГТУ в будущем, поэтому необходимо изучить новое техническое решение при использовании перспективных материалов рекуператоров для выбора оптимальных параметров цикла МГТУ с регенерацией. Рассматривается возможность использования биметаллических рекуператоров.

**Ключевые слова:** малогабаритные газотурбинные установки, регенерация, рекуператор, расчет тепловой схемы, жаропрочные материалы.

Рекуперативные, одновальные настоящие современные МГТУ мощностью до 100 кВт имеют одноступенчатый компрессор радиального типа с низкой степенью повышения давления  $\pi_k^*$  (не выше 6). Повышение температуры газа перед турбиной  $T_3^*$  до максимально допустимой температуры настоящего металла лопаток турбины, равной 1300...1350 К, помогает уменьшить расход топлива для получения максимальной полезной мощности при низкой степени повышения давления компрессора МГТУ с применением рекуператора в цикле. Тем не менее, повышение значения температуры  $T_3^*$  для улучшения эффективности МГТУ еще приводит к более высокой температуре на выходе из турбины  $T_4^*$  и, следовательно, требует рекуператора, изготовленного из более термостойких материалов. Таким образом, достижение создания высокотемпературных материалов имеет важное значение для улучшения характеристик рекуператоров, так и МГТУ.

В работе автора проведены вариантыные расчеты с целью выбора оптимальных параметров и характеристик цикла МГТУ по тепловой схеме с регенерацией [1–4]. Основные данные для расчета тепловой схемы предлагаемого цикла МГТУ: начальные условия: температура воздуха окружающей среды  $T_H = 288,15 \text{ К}$ ; давление воздуха окружающей среды  $P_H = 0,1013 \text{ МПа}$ ; коэффициент полноты сгорания  $\eta_{КС} = 0,99$ ; КПД компрессора по полным параметрам  $\eta_K^* = 0,82$ ; внутренний КПД турбины по полным параметрам  $\eta_T^* = 0,90$ ; степень регенерации  $\mu = 0,90$ ; коэффициент потерь давления через рекуператор  $\sigma_{Р,РЕГ} = 0,96$ .

В настоящее время из нержавеющей стали марки 347 изготавливается большинство рекуператоров, работающих при температуре  $\leq 923 \text{ К}$ , обеспечивающей стойкость к окислению. При температурах  $\geq 923 \text{ К}$  можно применять более жаропрочные материалы. В свою очередь, жаропрочные Ni-сплавы наиболее перспективны до температуры газа на входе в рекуператор  $1070 \dots 1120 \text{ К}$  [5]. В будущем с целью повышения эффективности МГТУ оптимальным было бы повышение температуры на входе в турбину  $T_3^*$  выше  $1550 \text{ К}$  и использование керамических рекуператоров, чтобы выдерживать температуру на входе в рекуператор не меньше  $1200 \text{ К}$  (рис. 1).

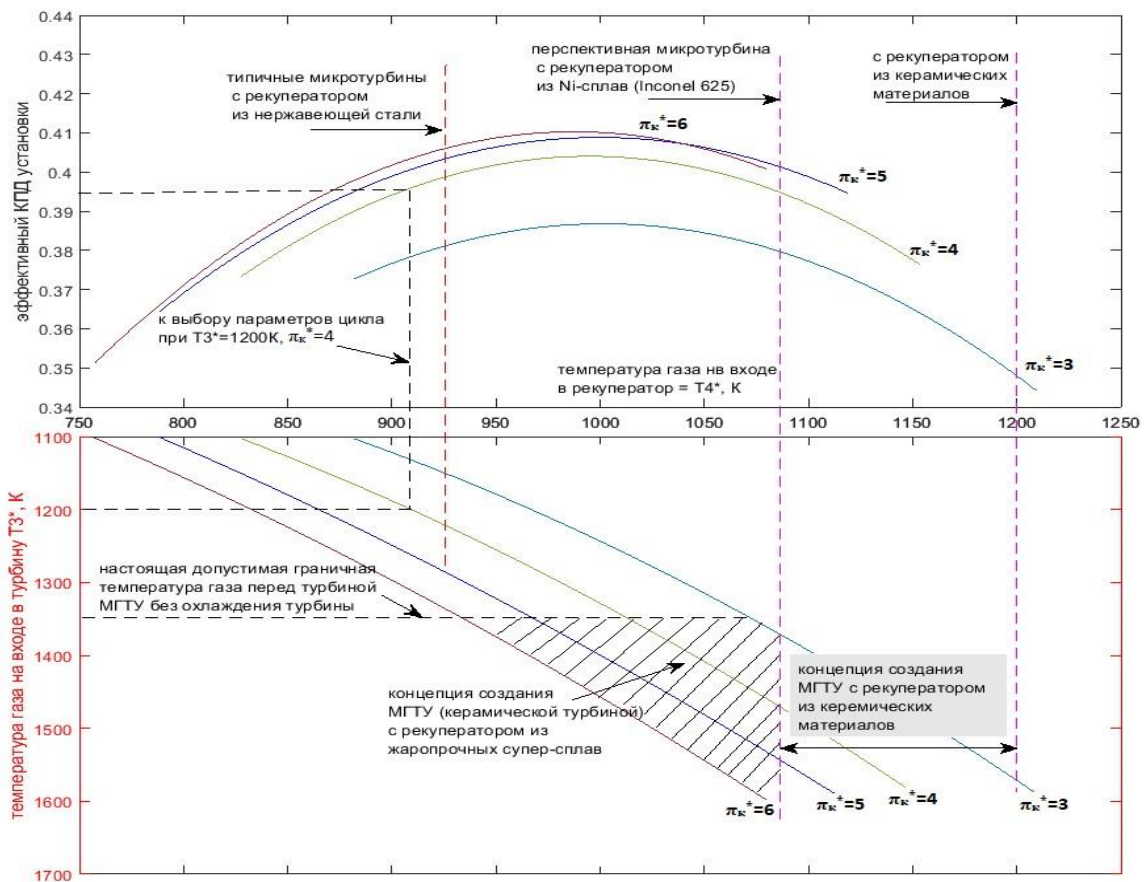


Рис. 1. Зависимость оптимизации параметров цикла рекуперативной МГТУ от материалов турбин и рекуператоров для общего диапазона температуры газов перед турбиной  $T_3^*$  и степени повышения давления в компрессоре  $\pi_K^*$



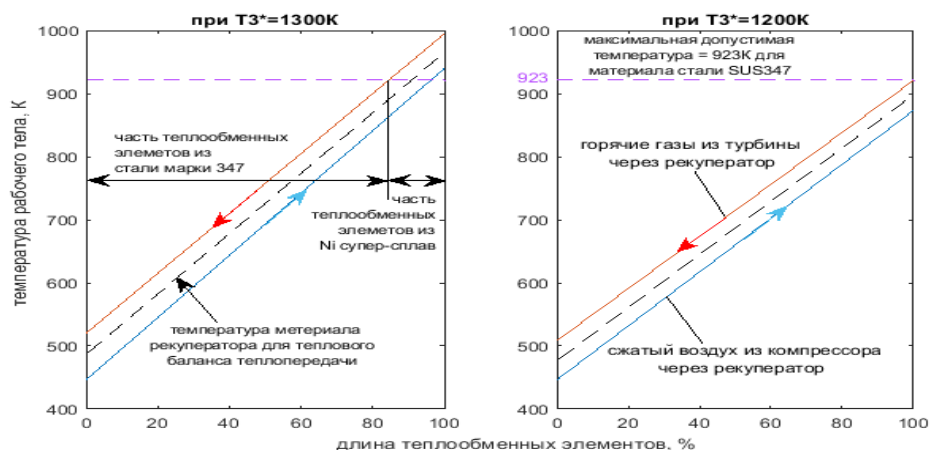


Рис. 2. Возможность использования биметаллического рекуператора в цикле расчетной МГТУ ( $\pi_k^* = 3,7$ ) для повышения эффективности установки при увеличении температуры газов перед турбиной  $T_3^*$  с 1200 на 1300 К.

Сравнение характеристик расчетной МГТУ ( $\pi_k^* = 3,7$ ) при увеличении температуры газов перед турбиной  $T_3^*$

№	Показатели установки	Значение величины $T_3^*$		Разница
		1200 К	1300 К	
1	Эффективный КПД, %	39,2	40,1	+ 2,30 %
2	Удельная работа, кДж/кг	152,9	170,2	+11,31 %
3	Удельный расход топлива, кг/(кВт·ч)	0,310	0,303	-2,26 %

По результатам исследования предположена возможность применения биметаллических рекуператоров для повышения эффективности расчетной МГТУ (более 40 %). Таким образом, высокотемпературная часть рекуператора необходимо изготавливать из высокотемпературного сплава для высокой температуры газов, а остальная часть рекуператора из нержавеющей стали (SUS347) для ниже температуры рабочих тел (рис. 2). По результату исследования показано, что использование биметаллических рекуператоров в данном случае существует соотношение по массе: 16 % Ni-сплав (In625) и 84 % нержавеющей стали (SUS347) позволит увеличение температуры  $T_3^*$  еще на 100 °С с целью повышения эффективности установки, так и экономичности по расходу топлива (см. таблицу).

### Источники

1. Арсеньев Л. В. Рассохин В.А. Оленников С.Ю., Раков Г.Л. Расчет тепловой схемы ГТУ: учеб. пособие. СПб.: ЛГТУ, 1992. 64 С.
2. Барсков В.В., Рассохин В.А. и др. Расчет тепловой схемы газотурбинной установки: уч. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. 38 С.
3. Машиностроение: Энциклопедия в сорока томах / В.А. Рассохин, О.А. Владимирский, С.Н. Гаврилов [и др.]. М.: Научно-техническое издательство «Машиностроение», 2015. 1030 с. (Расчет и конструирование машин; турбинные установки).
4. Машиностроение: Энциклопедия в 40 томах / К.Э. Аронсон, В.А. Рассохин, Ю.М. Бродов [и др.]. М.: Издательство «Инновационное машиностроение», 2016. 472 с. (Расчет и конструирование машин; Теплообменные аппараты технологических подсистем турбоустановок).
5. Aquaro D., Pieve M. High temperature compact heat exchangers: performance of advanced metallic recuperates for power plants // Proc. Of Fifth International Conference on enhanced, compact and Ultra-compact heat exchangers: Science, engineering and Technology (2005). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://core.ac.uk/download/pdf/185670699.pdf> (дата обращения 12.02.2022).

## Секция 4. ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ, СТРОИТЕЛЬСТВО ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

УДК 537.214

### СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ, ВНЕДРЯЕМЫЕ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

А.Б. Асылжанова

ВКТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

777\_aiko\_777@mail.ru

В данной работе рассматриваются вопросы развития энергетического сектора Республики, на основе внедрения современных энергосберегающих технологий в промышленных предприятиях

Как показывает мировой опыт, огромный потенциал энергосбережения и повышения энергоэффективности имеется в промышленном секторе и в сфере ЖКХ. И первым шагом в определении этого потенциала является внедрение энергосберегающих технологий в жилых и промышленных объектах.

**Ключевые слова:** энергосбережение, энергоаудит, энергоэффективность, энергоучет.

Важнейшей мерой для развития электроэнергетики является широкое использование энергосберегающих технологий. Актуальность их внедрения обусловлена не только необходимостью экономить энергетические ресурсы, а также минимизировать расходы предприятий в период экономического спада.

Энергосбережение – это необходимость, которая продиктована невозможностью обеспечения прибыльности производства при постоянной положительной динамике цен на энергоносители и начинающемся дефиците электроэнергии. Эти факторы и являются тем, что сдерживают развитие большинства отраслей отечественной экономики.

В настоящее время энергосбережение – одна из приоритетных задач. Это связано с дефицитом основных энергоресурсов, возрастающей стоимостью их добычи, а также с глобальными экологическими проблемами [1, 2].

Для того чтобы оценить эффективность использования энергетических ресурсов и надежность работы энергокомплекса предприятия, необходимо дополнительно осуществить следующие организационные мероприятия:

- внутренний энергоаудит и определение доли энергозатрат в структуре себестоимости;

- разработка мероприятий энергосбережения и повышения энергоэффективности применительно к технологическим условиям деятельности предприятия;

- обучение персонала правилам энергосбережения и рационального использования энергоресурсов, мониторинг исполнения внутренних регламентов энергопользования;

- определение ответственных лиц за проведение программы энергосбережения, контроль исполнения программы;

- разработка положения о материальном стимулировании ответственных лиц при получении эффекта от проведения мероприятий повышения энергоэффективности и снижения издержек на приобретение энергоресурсов;

- информационное обеспечение энергосбережения, пропаганда основ энергосбережения на предприятии; Контроль и анализ исполнения договоров на поставку энергетических ресурсов;

- организация финансового и бухгалтерского учёта при реализации мероприятий энергосбережения и повышения энергоэффективности.

Объектом исследования является система электроснабжения промышленного объекта (на примере ТОО «УККЗ» и ТОО «УКАЗ»)

Предметом исследования являются теоретические и практические вопросы улучшения использования резервов энергосбережения в промышленности.

Целью исследования является разработка научно-методических и практических рекомендаций по внедрению энергосберегающих технологий в предприятиях.

Для достижения указанной цели в работе решаются следующие задачи исследования:

- 1) анализировать теоретический аспект развития современных энергосберегающих технологий;

- 2) описать систему энергоснабжения и энергопотребления;

- 3) определить мероприятия по внедрению энергосберегающих технологий;

- 4) разработать наиболее перспективные технические возможности по внедрению энергосберегающих технологий;

- 5) провести расчет и сравнительный анализ эффективности энергосберегающих мероприятий.

По результатам проведения энергетического экспресс-аудита по предприятиям предложены следующие технические мероприятия по энергосбережению:

ЭСМ 1. Подключение к общей тепловой сети.

ЭСМ 2. Реконструкция освещения в термическом отделении.

ЭСМ 3. Установка частотных регуляторов в насосной станции 2-го подъёма.

ЭСМ 4. Промывка трубопроводов системы отопления. Снижение тепловых и гидравлических потерь за счёт удаления внутренних отложений с поверхностей радиаторов и разводящих трубопроводов.

ЭСМ 5. Применение автоматических дверных доводчиков на входных дверях.

В таблице приведены сведенные финансовые показатели реализации указанных мероприятий.

Сведённые финансовые показатели реализации технических мероприятий по энергосбережению

№ п/п	Наименование проекта (энергосберегающего мероприятия)	Капитал. затраты, тыс. тг	Экономия энергоресурсов, тыс. тг	Экономия энергоресурсов, т.у.т	Простой срок окупаемости, лет
1	Подключение к общей тепловой сети	500000,00	67 000,00	–	7,5
2	Реконструкция освещения в термическом отделении	86,4	102,27	0,967	0,7
3	Установка частотных регуляторов в насосной станции 2-го подъёма	15816,00	3 332, 45	31,483	4,7
4	Промывка трубопроводов системы отопления. Снижение тепловых и гидравлических потерь за счёт удаления внутренних отложений с поверхностей радиаторов и разводящих трубопроводов	150, 00	31,54	0,298	4,8
5	Применение автоматических дверных доводчиков на входных дверях	34,02	20,52	0,162	1
	ИТОГО	516086,42	70486,78	32,91	

Общая годовая экономия от внедрения предложенных мероприятий составит 70486780 тенге. Капитальные затраты (инвестиции) на реализацию указанных мероприятий составят 516086420 тенге. Итоговый потенциал энергосбережения в денежном выражении от внедрения предложенных технических мероприятий может составить до 19 %.

Также для повышения уровня энергоэффективности предложено внедрить следующие первоочередные организационные меры:

1. Внедрение системы энергоменеджмента на базе стандарта ISO 50001. Предполагаемая экономия энергоресурсов от внедрения данного мероприятия составит до 1,0 %.

2. Создание и использование стимулирующих механизмов при внедрении мероприятий по энергосбережению. Предполагаемая экономия энергоресурсов от внедрения данного мероприятия составит до 0,5 %.

3. Создание и ведение базы энергоэффективных технологий и оборудования. Предполагаемая экономия энергоресурсов от внедрения данного мероприятия составит до 0,1 %.

4. Информационно-просветительская и консультационная деятельность. Предполагаемая экономия энергоресурсов от внедрения данного мероприятия составит до 0,25 %.

Итоговый потенциал энергосбережения от внедрения предложенных организационных мер может составить до 1,85 %.

Общий потенциал энергосбережения от внедрения технических и организационных мероприятий может составить более 20 %.

### **Источники**

1. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. 1. Отопление (Справочник проектировщика) / В.Н. Богословский, Б.А. Крупнов [и др.]. М.: Стройиздат, 2005. 344.

2. Строительная климатология СНиП РК 2.04-01-2010.

## АНАЛИЗ ОТРАБОТАВШЕГО ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА МЕТОДОМ ТОНКОСЛОЙНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

М.В. Климовских

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

klimovskih.maksim@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.В. Танеева

С помощью радиальной тонкослойной хроматографии было проведено исследование отработанного трансформаторного масла марки ГК на пластинках «Sorbfil». В данной работе в качестве элюентов использовали толуол и уайт-спирит. Показано лучшее разделение фурановых производных с использованием толуола по сравнению с уайт-спиритом.

**Ключевые слова:** фурановые производные, растворитель, трансформаторное масло, тонкослойная хроматография, силикагели, элюент.

Фурановые соединения являются продуктом деградации целлюлозы. Концентрация их в трансформаторном масле может быть определена различными инструментальными методами и служит мерой деструкции изоляции силового трансформатора [1].

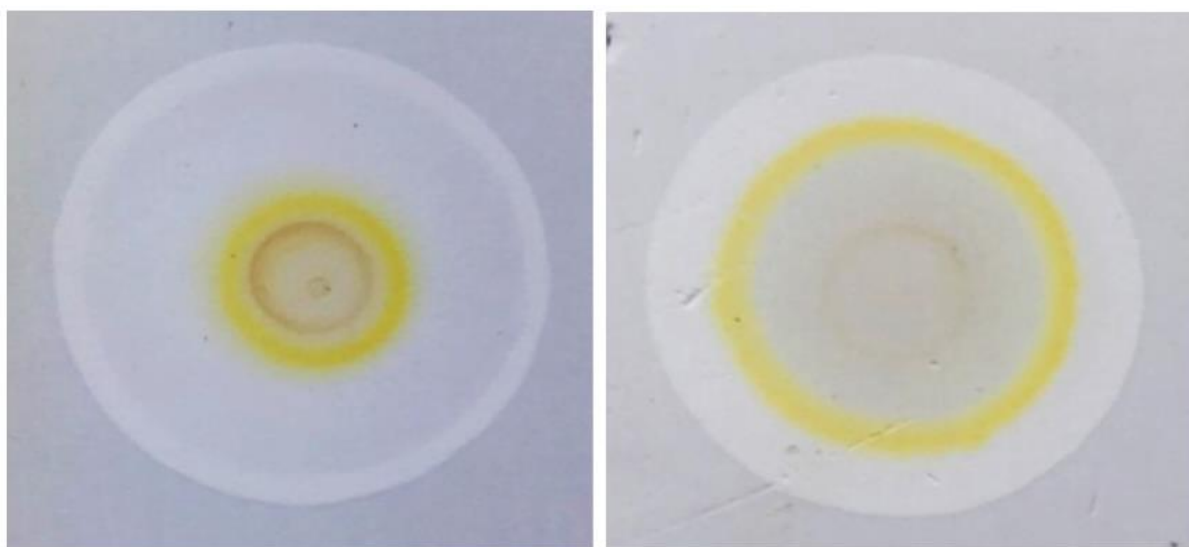
Содержание фурановых производных, ограничивающее область нормального состояния трансформаторного масла, составляет 0,0015 % массы масла. Определение содержания фурановых производных производится хроматографическими методами.

Наиболее простым методом определения фурановых производных является тонкослойная хроматография, когда появляется возможность определять фурфурол, фурфуриловый спирт и оксиметилфурфурол [2].

Фурановые производные экстрагируют гексаном, насыщенным ацетонитрилом. Затем экстракт определяется в делительной воронке или центрифугированием и наносится на тонкослойную пластину.

Нами путем радиальной тонкослойной хроматографии было проведено исследование отработанного трансформаторного масла марки ГК на пластинках «Sorbfil». Тонкослойные пластинки «Sorbfil» состоят из алюминиевой или лавсановой подложки, на которую нанесён слой силикагеля, который представляет собой высушенный гель ангидрида кремниевой кислоты  $\text{SiO}_2$ . Силикагели применяют как сорбенты, осушители, наполнители для резин и пластмасс, носители для катализаторов и т.д. Различные фирмы выпускают широкий ассортимент силикагелей для хроматографии. Кроме того, в качестве носителей могут использоваться силикагели, выпускаемые для других целей [3].

Отработанное трансформаторное масло в количестве 4 мкл было нанесено микрошприцем в центр тонкослойной пластинки, в которую подавался элюент с постоянной скоростью. В качестве элюентов применяли уайт-спирит и толуол. Результаты анализа приведены на рисунке. В результате этого процесса происходит разделение фурановых соединений на индивидуальные компоненты.



а

б

Радиальная хроматограмма отработанного трансформаторного масла ГК на тонкослойных пластинках Sorbfil. а – элюент – уайт-спирит; б – элюент – толуол

Как видно из рисунка, выделяется ряд зон, которые соответствуют продуктам деструкции бумажной изоляции трансформаторного электрооборудования. Происходит разделение компонентов трансформаторного масла на группы, соответствующие парафиновым, нафтеновым и ароматическим углеводородам. Кроме того желтым цветом выделяются асфальтены, смолы и фурановые соединения. Хочется отметить, что для свежего трансформаторного масла таких зон не было обнаружено. Таким образом, на качественном уровне можно провести предварительную оценку трансформаторного масла визуально по виду хроматограммы, что позволяет сделать вывод о дальнейшем более детальном исследовании трансформаторного масла.

Таким образом, в зависимости от используемого элюента при анализе отработанного трансформаторного масла методом тонкослойной хроматографии на пластинках «Sorbfil», наблюдается различное количество концентрационных кругов. Показано, что для толуола наблюдается большее расстояние между центрами пятна, что свидетельствует о лучшем разделении по сравнению с уайт-спиритом.



## Источники

1. Контроль технического состояния силовых трансформаторов: практикум / В.Ф. Новиков, А.В. Танеева. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. 43 с.

2. Новиков В.Ф., Карташова А.А., Танеева А.В. Инструментальные методы анализа. В 3-х ч. Ч. III. Газохроматографический контроль производственных процессов в энергетике: монография; под ред. В.Ф. Новикова. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. 328 с.

3. Ву Нгок Зан, Новиков В.Ф. Изучение сорбционных свойств органических растворителей в условиях тонкослойной и колоночной хроматографии // Известия вузов. Проблемы энергетике. 2020. Т. 22. № 2. С. 19–26.

УДК 66.045.12

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА С НЕРЕГУЛЯРНЫМИ НАСАДКАМИ «ИНЖЕХИМ»

К.М. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

kirill-maslov-98@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Е.А. Лаптева

Автором были выполнены расчеты кожухотрубного теплообменника. Были описаны способы его интенсификации и проведен расчет с насадками.

**Ключевые слова:** теплообмен, кожухотрубный теплообменник, интенсификатор.

Одной из важнейших проблем, стоящих перед различными предприятиями и энергетикой в целом, является повторное использование тепловых ресурсов или же утилизация тепловой энергии. И поэтому очень важно создавать и использовать технологии, которые позволяют возвращать сбрасываемую тепловую энергию в оборот и на различные прочие нужды. Тем самым происходит экономия ресурсов разных типов.

В частности, этот подход можно применить к ТЭЦ. Предлагается вариант утилизации тепла непрерывной продувки. Обычно после процесса непрерывной продувки сама продувочная вода сбрасывается в окружающую среду [1].

Но ее тепло можно использовать. Для этого есть несколько способов, в числе которых испарители мгновенного действия, струйные установки, а также теплообменники поверхностного типа. Последние наиболее предпочтительный выход по утилизации тепла продувочной воды. А конкретно кожухотрубный теплообменный аппарат. Его отличает простота и распространенность, а также стабильная работа в условиях агрессивной среды, которой и является продувочная вода [2, 3].

Чтобы выяснить характеристики теплообменника, был проведен его расчет, исходя из данных по продувочной воде, взятой с Нижнекамской ТЭЦ. Исходные данные такие:

$$G_2 = 9,91 \text{ кг/с}, t_{2Н} = 10^\circ \text{С}, k_{\text{ит}} = 0,98, t_{1Н} = 130^\circ \text{С}, t_{1К} = 50^\circ \text{С}.$$

Далее по этим данным проводился дальнейший расчет. Итоги его таковы:

$$n = \frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2 \cdot \omega_1 \cdot \rho_1} = 13,4 = 14, \quad (1)$$

где  $n$  – количество труб,  $G_1$  – расход конденсата непрерывной продувки;  $d_{\text{вн}}^2$  – внутренний диаметр трубы;  $\omega_1$  – скорость теплоносителя;  $\rho_1$  – плотность теплоносителя.

Коэффициент теплопередачи:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2}} = 3550 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}, \quad (2)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  – коэффициенты теплоотдачи;  $\delta$  – толщина стенки;  $\lambda_{\text{ст}}$  – теплопроводность материала, из которого выполнена трубка (латунь).

Площадь поверхности теплообмена:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 7,23 \text{ м}^2, \quad (3)$$

где  $Q$  – тепловая мощность;  $\Delta t_{\text{ср}}$  – средняя логарифмическая разница температур.

После получения данных по теплообменнику предлагается его усовершенствовать путем интенсификации теплообмена [4]. Сделать это можно многими способами, например: кольцевые вставки, трубы типа конфузур – диффузур, оребрение труб, использование насадок. И в качестве интенсификатора для данного теплообменника были выбраны различные насадки «Инжехим», а именно «Инжехим 2000», «Инжехим 2002» и «Инжехим 2003М».

Далее с учетом каждой насадки был произведен тепловой расчет. Полученные данные были проанализированы и можно сделать вывод, что использованием насадки действительно возможно интенсифицировать теплообмен в канале. В ходе расчета самой неэффективной насадкой оказалась насадка «Инжехим 2003М». Коэффициент теплопередачи здесь  $4617 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ . С использованием насадки «Инжехим 2002» он имеет значение  $6330 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ . А наибольшее значение коэффициента теплопередачи достигается использованием насадки «Инжехим 2000». Здесь он составляет  $7211 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ . Объясняется это тем, что у последней насадки выше эквивалентный диаметр («Инжехим 2003М»:  $d_3=0,0049$  м, «Инжехим 2002»:  $d_3=0,019$  м, «Инжехим 2000»:  $d_3=0,059$  м). Именно эти параметры и повлияли на конечный результат.

Вывод: чтобы утилизировать теплоту непрерывной продувки использовался кожухотрубный теплообменный аппарат. Интенсификаторами процесса теплообмена в нем послужили насадки «Инжехим». В ходе расчетов прослеживается закономерность, что чем больше эквивалентный диаметр, то тем выше итоговый коэффициент теплопередачи и эффективность теплообменника в целом.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №18-79-10136 <https://rscf.ru/project/18-79-10136/>

### Источники

1. Кишкин А.А., Краев М.В., Зуев А.А. Интенсификация теплообмена // Авиационно-космическая техника и технология. 2017. С. 34–38.

2. Кушнаренко В.М., Чирков Ю.А., Клещарева Г.А., Решетов С.Ю., Клещарева А.А. Причины преждевременного разрушения теплообменных труб энергетического оборудования // Вестник КГЭУ. 2021. Т. 13. С. 75–84.

3. Меламед Л.Э., Филиппов Г.А. Обобщенная формула для скорости турбулентных и ламинарных течений // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. Т. 20. № 7–8. С. 136–146.

4. Фарахов Т.М., Афанасьев Е.П. Модернизация и расчет теплообменника-подогревателя масла // Инновационная наука. 2017. №. 4-3. С. 119-123.

## ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РАБОТЫ ДИСКА СБОРНО-МОНОЛИТНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ВНУТРЕННИМИ УСИЛИЯМИ В ЭЛЕМЕНТАХ

Р.Ш. Муртазин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

murtrinat@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.С. Сабитов

В статье приведен обзор некоторых особенностей совместной работы элементов сборно-монолитного перекрытия. Рассмотрены особенности совместной работы, обусловленные внутренними усилиями, возникающих непосредственно в ходе эксплуатации или в результате их предварительного напряжения в ходе их изготовления.

**Ключевые слова:** сборное перекрытие, предварительное напряжение, распор, внутренние усилия.

Зачастую в ходе проектирования факторы совместной работы конструкций не рассматриваются в силу того, что их влияние на пространственную работу каркаса в целом считается пренебрежительно малым, однако в ходе исследований, проведенных при написании данной статьи, были выявлены предпосылки для принятия части данных факторов во внимание. В частности, настоящая статья рассматривает внутренние усилия, которые возникают в плитах сборно-монолитного перекрытия. В данной работе рассматриваются две разновидности таких внутренних усилий, отличающихся по природе их происхождения и некоторыми принципами их работы.

К первой разновидности относятся внутренние усилия, которые возникают в плитах перекрытия в результате предварительного напряжения арматуры при изготовлении плит.

Ко второму рассматриваемому типу относятся распорные усилия, возникающие в плитах перекрытия под нагрузкой в ходе их эксплуатации (см. рисунок). Их возникновение обусловлено плотными контактами с поперечными монолитными участками сборно-монолитных ригелей, в результате чего в перекрытии образуются реактивные распорные усилия, вызывающие в сечении плит перекрытия изгибающий момент, направленный в обратную сторону.

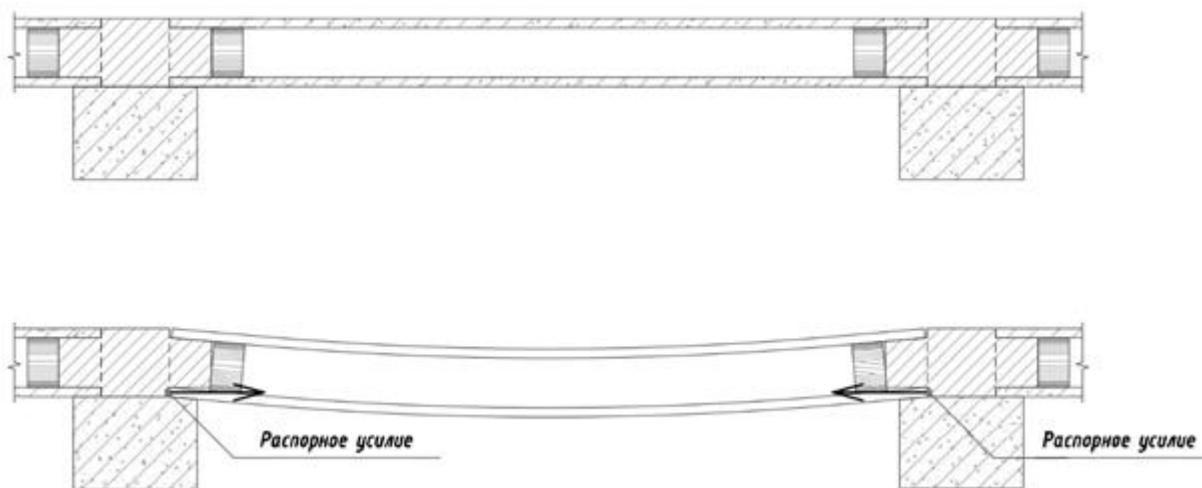


Схема возникновения распорных усилий плиты перекрытия

Учёт факторов совместной работы сборно-монолитного перекрытия в проектировании, обусловленных усилиями предварительного напряжения и/или распора в плитах перекрытия, на данный момент невероятно трудоёмок в силу отсутствия методов наиболее исчерпывающего их представления в конечно-элементной модели. Существуют методы аналитического расчета данных конструкций, однако и их использование не может дать наиболее исчерпывающего представления обо всех особенностях пространственной работы плит перекрытий с усилиями предварительного напряжения или распора.

Существует сформированная и длительное время используемая методическая база для аналитического расчета предварительно напряженных конструкций [1], однако данная методическая база не позволяет решать задачи проектирования диска сборно-монолитных перекрытий в полной мере.

Исследования по конечно-элементному моделированию предварительно напряженных плит перекрытия и стержневых элементов [2, 3] уделяют пристальное внимание непосредственно способам задания предварительного напряжения изъятому из конструктивной схемы элементу. Перечисленные подходы не позволяют учитывать предварительное напряжение плит перекрытия в цельной конструктивной системе и, следовательно, учитывать передачу усилий на ригели и диафрагмы жесткости.

Распорные усилия в элементах сборно-монолитного перекрытия еще более сложны в учёте, поскольку природа их возникновения относительно специфична и их аналитический расчёт требует решения геометрических задач в продольном сечении плит и оценки механических характеристик материалов, участвующих в работе плит [4].

В ходе экспериментальных испытаний фрагментов плита-ригель сборно-монолитного перекрытия сборно-монолитной системы РАДИУСС, было обнаружено, что фактические жесткость и прочность исследованного фрагмента сборно-монолитного перекрытия значительно превышают расчетные значения, полученные в результате конечно-элементного расчета [5]. Полученный запас несущей способности как раз был обусловлен тем, что распорные усилия, возникающие от деформации плиты под вертикальной нагрузкой, значительно повышали жесткость плит перекрытия.

Дальнейшее развитие конечно-элементного моделирования вышеописанных проблем позволит иметь более развернутое представление о пространственной работе конструкций сборно-монолитного перекрытий с учётом внутренних усилий в плитах перекрытия. Также достаточно остро стоит вопрос с распорными усилиями: не учитываемые в проектировании в настоящий момент распорные усилия приводят к повышенному запасу несущей способности и жесткости плит перекрытия, что в свою очередь приводит к повышенной материалоемкости.

#### **Источники**

1. СП 52-102-2004. Предварительно напряженные железобетонные конструкции. М., 2004. 43 с.
2. Определение выгиба большепролетных железобетонных балок от преднапряжения арматуры методом конечных элементов / П. Гайджуров, Э. Исхакова, Аль-Джабоби Сами Фахль, Аль-Хадж Махмуд Аббо Хаса // Известия вузов. Северо-кавказский регион. 2017. №4 С. 86-91.
3. Конечно-элементное моделирование передачи усилия натяжения стального каната на бетон / П. Гайджуров, Аль-Джабоби Сами Фахль, Аль-Хадж Махмуд Аббо Хаса // Известия вузов. Северо-кавказский регион. 2017. №2 С. 73-78.
4. Результаты испытаний нагружением сборно-монолитного перекрытия, опертого на несущие стены многоэтажного здания / С.В. Босаков, А.И. Мордич, А.А. Карякин, С.А. Сонин [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. 2018. №2. С. 35-42.
5. Испытание фрагментов плита-ригель сборно-монолитного перекрытия каркаса «РАДИУСС» / А.С. Семченков, А.Р. Демидов, Б.С. Соколов // Бетон и Железобетон. 2008. №5. С. 2-4.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ С РАЗЛИЧНЫМИ НАСАДКАМИ

В.А. Окружнов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

okruzhnoff.vlad@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Е.А. Лаптева

В статье представлены результаты сравнения двух видов насадок. Рассмотрены графики охлаждения жидкости (воды) и газа (воздуха) при различных плотностях давления. Выявлено при каком варианте повышается эффективность охлаждения воды в градирне.

**Ключевые слова:** охлаждение градирни, эффективность, насадка, жидкость, газ.

Градирни – это устройства, которые охлаждают огромный объем воды целенаправленным потоком атмосферного воздуха. Также их называют охладительными башнями. Сегодня градирни используются в системах оборотного водоснабжения для охлаждения теплообменных аппаратов на ТЭЦ и АЭС [1–4].

Исследования процессов теплообмена производились на лабораторном макете мини-градирни. Чертеж макета мини- градирни представлен на рис. 1.

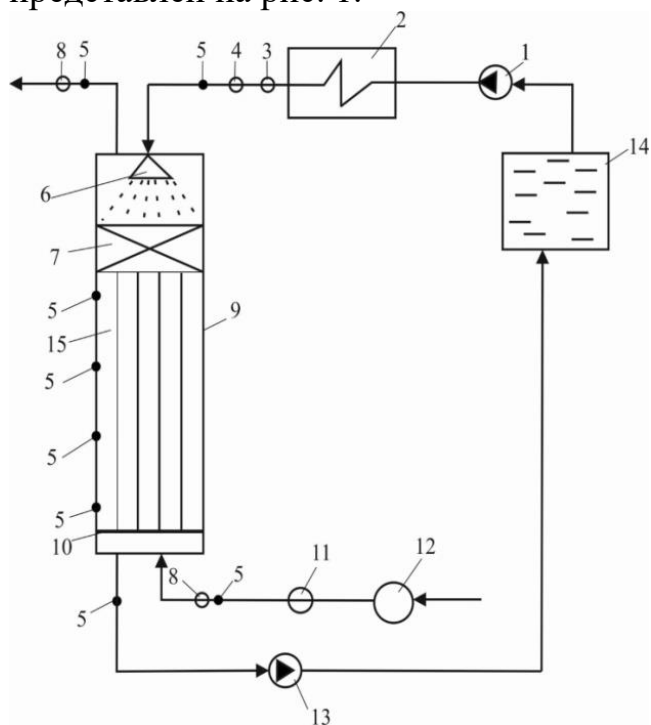


Рис. 1. Лабораторная установка с двумя насадками. 1 – насос; 2 – теплообменник; 3 – датчик перепада давления; 4 – расходомер; 5 – термопара на входе и выходе; 6 – распылитель; 7 – нерегулярная насадка «Инжехим 2002»; 8 – датчик для определения относительной влажности воздуха; 9 – корпус колонны; 10 – опорная решетка; 11 – расходомер по газу (воздуху); 12 – газодувка; 13 – циркуляционный насос; 14 – бак; 15 – насадка гофрированной трубы с дискретно-шероховатой поверхностью

Тепловой КПД по охлаждаемой жидкости (воды) выражается в виде:

$$E_{\text{ж}} = \frac{t_{\text{н}} - t_{\text{к}}}{t_{\text{н}} - t^*} \quad (1)$$

где  $t_{\text{н}}, t_{\text{к}}$  – температура охлаждаемой жидкости (воды) на входе и выходе;  $t^*$  – температура воды по мокрому термометру.

Тепловой КПД по паровой фазе определяется:

$$E_{\Gamma} = \frac{I_{\text{к}} - I_{\text{н}}}{I_{\text{к}}^* - I_{\text{н}}}, \quad (2)$$

где  $I_{\text{н}}, I_{\text{к}}$  – начальная и конечная энтальпия влажного воздуха Дж/кг;  $I_{\text{к}}^*$  – энтальпии влажного воздуха на выходе из блока контактных устройств.

Исследования проводились на орошаемой колонне при разных скоростях газа и различных плотностях орошения. Итоги экспериментов представлены на рис. 2, 3.

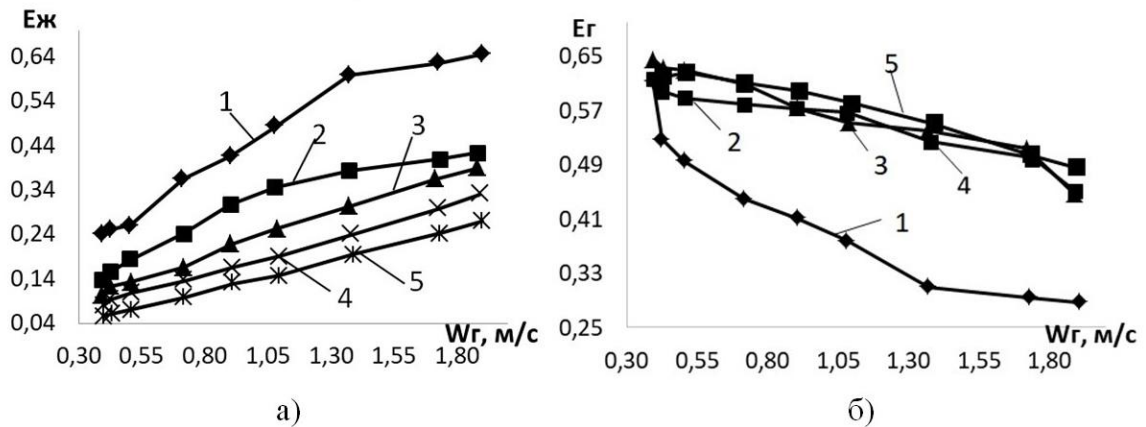


Рис. 2. Графики зависимости при различных  $q_{\text{ж}}$  с насадкой «Инжехим-2002» и труб с дискретно-шероховатой поверхностью: а)  $E_{\text{ж}}$  от  $W_{\Gamma}$ ; б)  $E_{\Gamma}$  от  $W_{\Gamma}$ ; 1 –  $q=3,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ ч}$ ; 2 –  $q=7,1 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ ч}$ ; 3 –  $q=10,6 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ ч}$ ; 4 –  $q=14,4 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ ч}$ ; 5 –  $q=17,6 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ ч}$

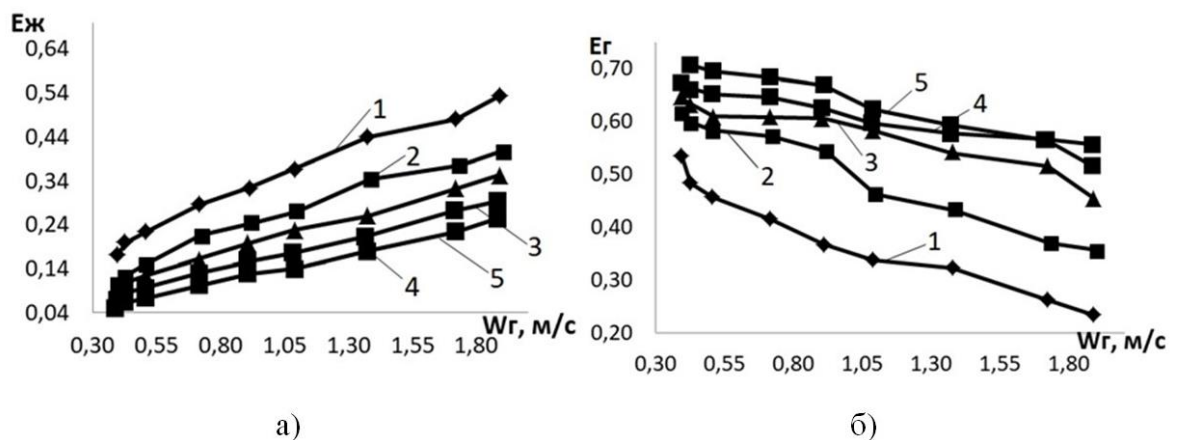


Рис. 3. Графики зависимости при различных  $q_{\text{ж}}$  при использовании труб с дискретно-шероховатой поверхностью: а)  $E_{\text{ж}}$  от  $W_{\Gamma}$ ; б)  $E_{\Gamma}$  от  $W_{\Gamma}$ ; 1 –  $q=3,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ ч}$ ; 2 –  $q=7,1 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ ч}$ ; 3 –  $q=10,6 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ ч}$ ; 4 –  $q=14,4 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ ч}$ ; 5 –  $q=17,6 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ ч}$



При использовании насадки «Инжехим-2002» и труб с дискретно-шероховатой поверхностью диаметрами 50 и 16 мм, наиболее эффективное охлаждение воды достигается при плотности орошения  $q=3,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ ч}$ , а по газу  $q=17,6 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ . При использовании труб с дискретно-шероховатой поверхностью диаметром 50 мм, наиболее эффективное охлаждение воды достигается при плотности орошения  $q=3,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ ч}$ , а по газу  $q=17,6 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ . Эффективность охлаждения жидкости (воды) с насадкой «Инжехим-2002» и труб с дискретно-шероховатой поверхностью диаметрами 50 и 16 мм  $E_{\text{ж}} = 64,7$ , а газа (воздуха)  $E_{\text{г}} = 64,4$ . Эффективность охлаждения жидкости трубами с дискретно-шероховатой поверхностью диаметром 50 мм  $E_{\text{ж}} = 53,4$ , а газа  $E_{\text{г}} = 70,6$ .

Исследование выполнено в рамках научного проекта РФФИ 18-79-101-36.

### **Источники**

1. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И. Градирни промышленных и энергетических предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1998. С. 376.

2. Лаптев А.Г., Ведьгаева И.А. Устройство и расчет промышленных градирен. Казань: КГЭУ, 2004. С. 177.

3. Бадриев А.И., Власов С.М., Чичирова Н.Д. Анализ нормальности распределения потоков в башенных испарительных градирнях // Вестник КГЭУ. 2021. Т. 13. № 1(49). С. 232-241.

4. Бадриев А.И., Власов С.М. Оценка распределения потоков воды и воздуха на лабораторной градирне // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21. № 5. С. 71-78.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ СОЗДАНИИ ДИНАМИЧЕСКОГО МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИИ ПОЛНОМАСШТАБНОГО ТРЕНАЖЕРА БЩУ АЭС

Г.И. Парфенов, Н.Н. Смирнов<sup>1</sup>, И.С. Трухин  
ФГБОУ ВО «ИГЭУ им. В.И. Ленина», г. Иваново  
<sup>1</sup>nsmirnov@bk.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. В.В. Тютиков, канд. техн. наук, доц. В.М. Захаров

В статье публикуются результаты исследований по моделированию динамического микроклимата в помещении полномасштабного тренажера блочного щита управления АЭС с учетом применения разработанных энергосберегающих мероприятий, таких как использование мобильных теплоотражающих экранов и фотоэлектрических панелей в окнах, понижение температуры внутреннего воздуха в нерабочее время до минимального значения. Определена эффективность применения вышеуказанных мероприятий.

**Ключевые слова:** динамический микроклимат, теплоотражающие экраны, солнечная фотоэлектрическая панель, осушка воздуха, энергоэффективность.

При проектировании и эксплуатации систем энергообеспечения зданий общественного, административно-бытового и производственного назначения важное значение приобретает применение технических решений, позволяющих снизить потребление топливно-энергетических ресурсов [1], а также обеспечить оптимальные условия труда. Система динамического микроклимата (ДМ) подает в помещение воздух с непрерывно изменяющимися во времени параметрами воздуха (температура, скорость), что приводит к повышению работоспособности сотрудников за счет возбуждения центральной нервной системы.

В ИГЭУ были разработаны энергоэффективные светопрозрачные ограждающие конструкции на основе применения мобильных алюминиевых экранов панельного, рулонного и жалюзийного вида, обладающих высокой теплоотражательной способностью [2], а также солнечных фотоэлектрических панелей, позволяющих не только снизить тепловые трансмиссионные потери, но и генерировать электрическую энергию. Были проведены [3] экспериментальные исследования в климатической камере АНО «Ивановостройиспытания», а также численное моделирование процесса теплопередачи через данные ограждающие конструкции, подтвердившие высокую энергоэффективность при применении экранов (рис. 1).

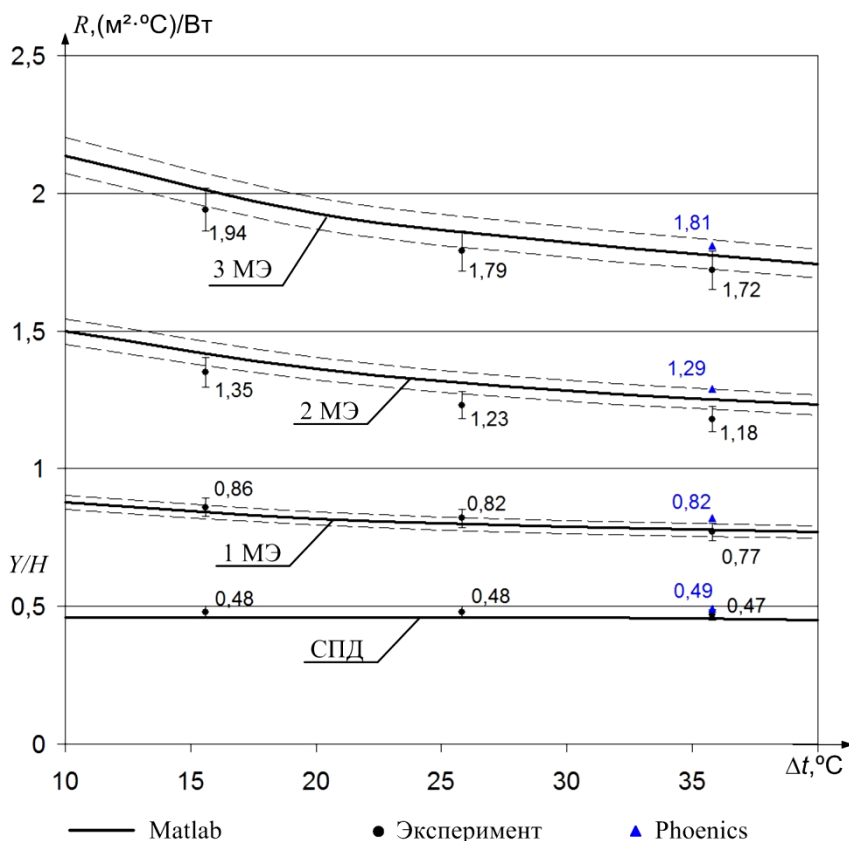


Рис. 1. Зависимость приведенного сопротивления теплопередаче  $R$  двухкамерного стеклопакета 4М1-10-4М1-10-4М1 (СПД) при использовании различного количества металлических экранов (МЭ) в холодном (ХО) отделении камеры в зависимости от разности температур  $\Delta t$  внутреннего и наружного воздуха

Была разработана методика определения значения минимальной температуры внутреннего воздуха в нерабочее время при условии недопущения выпадения конденсата на внутренних поверхностях разработанных светопрозрачных конструкций при наличии или отсутствии предварительной осушки воздуха. Данная методика позволяет значительно снизить затраты теплоты на поддержание заданных параметров микроклимата.

Была разработана имитационная модель динамического микроклимата для помещения тренажера блочного щита управления атомной электрической станции (БЩУ АЭС), учитывающая нелинейную зависимость сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций с теплоотражающими экранами от температурного режима эксплуатации (рис. 1), а также генерацию электрической энергии при помощи солнечных батарей. В рабочее время температура приточного воздуха задавалась с помощью функции гармонических колебаний. В нерабочее время холодного периода года подача воздуха прекращалась и исследовалась динамика остывания помещения и расположенного в нем оборудования (рис. 2).

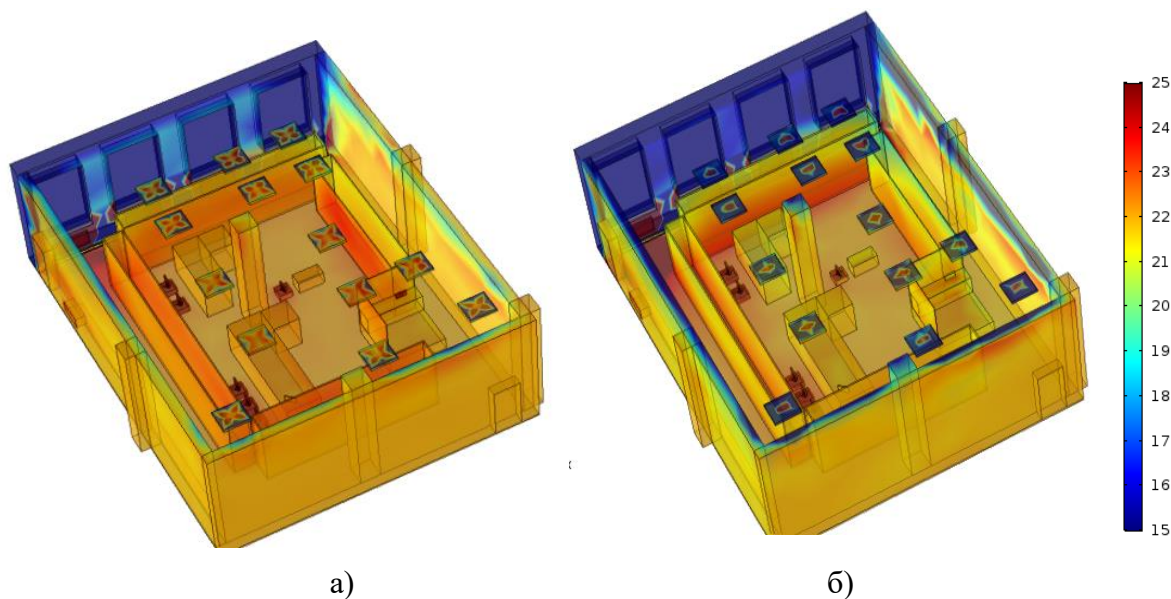


Рис. 2. Температурные поля на поверхности оборудования и ограждающих конструкций в помещении БЦУ АЭС (а) и спустя 70 мин после окончания рабочей смены (б)

На основании выполненного моделирования были определены годовые затраты теплоты и холода системой кондиционирования воздуха для организации указанного микроклимата, а также количество электрической энергии, вырабатываемой в фотоэлектрических батареях.

### Источники

1. Сабитов Л.С., Каратаев О.Р., Каратаева Е.С., Киямов И.К. Анализ способов повышения энергоэффективности систем холодоснабжения спортивных сооружений // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 12. С. 146-148.

2. Гапоненко С.О., Фазлиев Р.А., Калинина М.В. Метод повышения эффективности тепловой изоляции трубопроводов систем теплоснабжения путем применения отражающего элемента // Вестник КГЭУ. 2021. Т. 13. № 1(49). С. 204-217.

3. Смирнов Н.Н., Пыжов В.К., Захаров В.М., Авдюнин Е.Г. Использование окон с регулируемым сопротивлением теплопередаче для повышения энергетической эффективности систем динамического микроклимата помещений // Вестник ИГЭУ. 2016. №6. С. 26-42.

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДА ЛАЗЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ В ЭНЕРГЕТИКЕ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А.А. Рахманов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

azmay234@gmail.com

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Р.Р. Агишев

Методы лазерного зондирования объектов, процессов и различных сред находят применение при решении широкого круга задач и могут быть использованы в энергетике, строительной отрасли, автомобилестроении, нефтегазодобывающей промышленности и многих других. В статье представлены результаты компьютерного моделирования систем дистанционной диагностики, которые описывают лазерное сканирование исследуемых объектов, алгоритмическую обработку принятых оптических сигналов, обусловленных отражением излучения от сканируемых участков поверхности объектов. На примерах реальной изменчивости параметров уравнения измерения представлены результаты восстановления контуров и профилей исследуемых объектов.

**Ключевые слова:** дистанционная диагностика, лазерное сканирование, компьютерное моделирование.

Сегодня лазерное зондирование находит все более широкое применение в самых разных отраслях промышленности [1–3], включая энергетику и строительство, химическую и нефтегазодобывающую промышленности и многие другие. Одной из эффективных разновидностей этого метода является лазерное дистанционное сканирование [2, 3]. Применение сканирующих лидаров в строительной отрасли позволяет получать высокоточную информацию на этапе инженерно-геодезических исследований и обеспечить контроль качества строительных работ. В энергетике лидарные методы дистанционного бесконтактного контроля позволяют своевременно и с высокой точностью получать данные, например, о техническом состоянии проводов и изоляторов на линиях передач и т.п.

Возможность проведения дистанционных бесконтактных измерений – важное достоинство метода лазерного сканирования. Принцип действия и блок-схема метода представлены на рис. 1. В автоматическом режиме прибор способен проводить сотни и тысячи измерений в секунду; при этом достигается высокая точность измерений на расстояниях от долей метра до нескольких километров. Облако точек как результат алгоритмической обработки экспериментальных данных зондирования, представимо виде 2D- и 3D изображений, которые позволяют описывать контуры и геометрию исследуемых объектов и различать их самые мелкие детали.

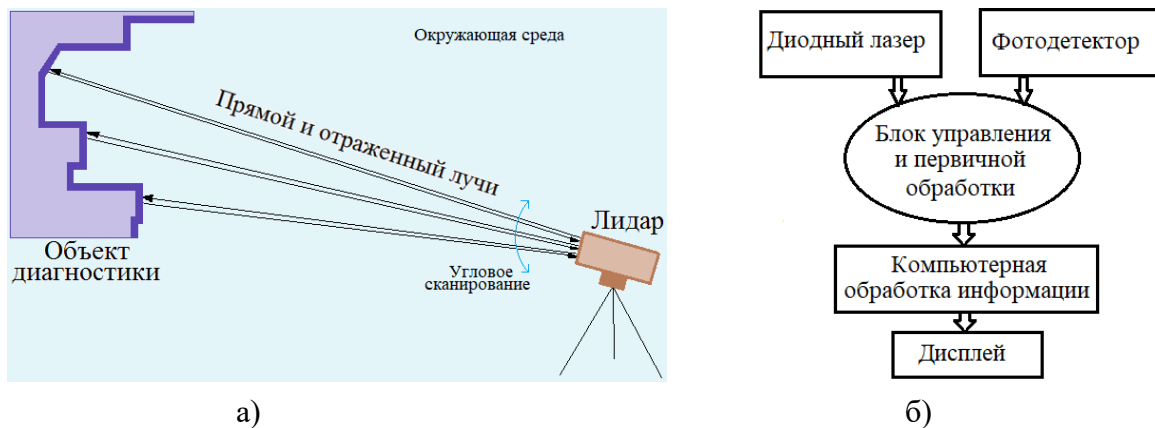


Рис. 1. Иллюстрация лазерной диагностики методом сканирования (а) и структура системы (б)

Взаимодействие лазерного луча с исследуемым объектом описывают с помощью нелинейного уравнения вида [2, 3]:

$$P_r(\lambda, R) = \frac{1}{2} G(R) \cdot P_0 \cdot c \cdot \tau_p \cdot \xi_0(\lambda) \cdot A_r \cdot b_\pi(\lambda, R) \cdot \exp\left[-2 \int_0^R \alpha(\lambda, r) dr\right] / R^2 \quad (1)$$

называемое уравнением оптической локации, или лидарным уравнением [1, 3]. Обозначено:  $G(R)$  – геометрический фактор;  $P_0$  – мощность лазерного импульса;  $\tau_p$  – длительность импульса;  $c$  – скорость света;  $\xi_0(\lambda)$  – пропускание приемной оптики;  $\lambda$  – длина волны;  $A_r$  – площадь приемного объектива;  $b_\pi$  – коэффициент отражения назад;  $\alpha$  – показатель рассеяния среды;  $R$  – текущая дальность.

Процедура восстановления дальности до диагностируемого объекта в любом  $i$ -том направлении сканирования проводилась по алгоритму:

$$R^*(i) = \left[ \frac{1}{2} G(i) \cdot P_0 \cdot c \cdot \tau_p \cdot \xi_0(\lambda) \cdot A_r \cdot b_\pi^*(\lambda, i) \cdot T(\lambda, i) / P_r(\lambda, i) \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

где  $b_\pi^*(\lambda, i)$  – оценка отражательной способности «назад» в  $i$ -том направлении.

Согласно принципу действия лидара для восстановления контура объекта по результатам многоуглового сканирования в каждом  $i$ -м направлении сканирования надлежащая алгоритмическая обработка мощности принятого сигнала  $P_r(R,i)$  позволяет извлечь дальность до исследуемой поверхности  $R^*(i)$ . Процедура восстановления картографических координат  $[x(i);y(i)]$  точек пересечения зондирующего луча под углом  $\varphi(i)$  со сканируемой поверхностью обеспечивает распознавание искомого профиля (рис. 2).

Мощность принятого лазерной системой сигнала зависит как от отражающей способности поверхности исследуемого объекта на длине волны зондирования, так и от прозрачности атмосферы на пути до объекта.

Результаты имитационного моделирования диагностики произвольных контуров методом лазерного сканирования представлены на рис. 3.

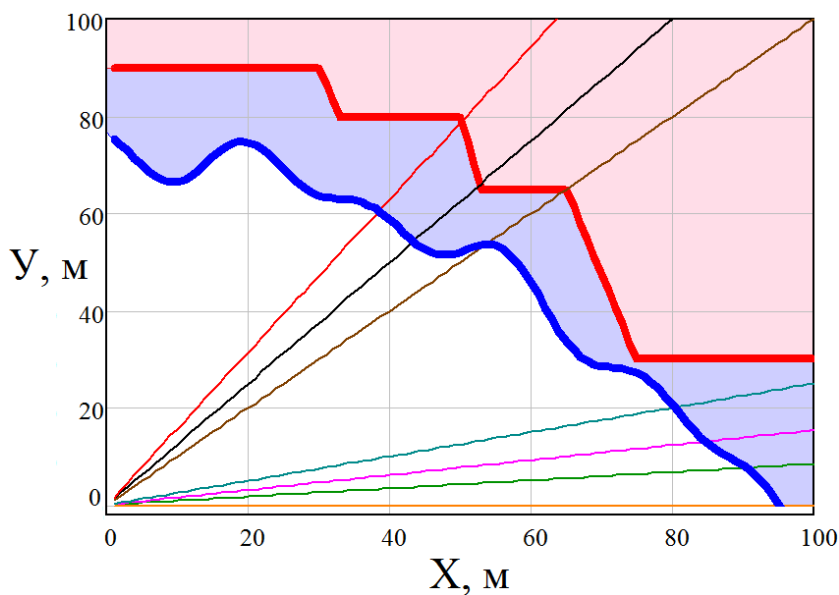


Рис. 2. Схематическое представление многоуглового сканирования поверхностей произвольного вида, выделенных красным и синим цветом.

На рис. 3, а показан принятый сигнал  $P1(i)$  при  $i$ -м угле сканирования при отражении поверхностью контура с прямолинейными элементами (красный контур на рис. 2) при многоугловом сканировании с  $\varphi(i) = 0...90^\circ$ . Рис. 3, б иллюстрирует восстановление пространственного контура на основе алгоритмической обработки принятых сигналов  $P1(i)$ . Результаты восстановления очертания произвольно выбранного профиля (синий контур на рис. 2) на основе принятого сигнала  $P2(i)$  представлены на рис. 3, в и 3, г.

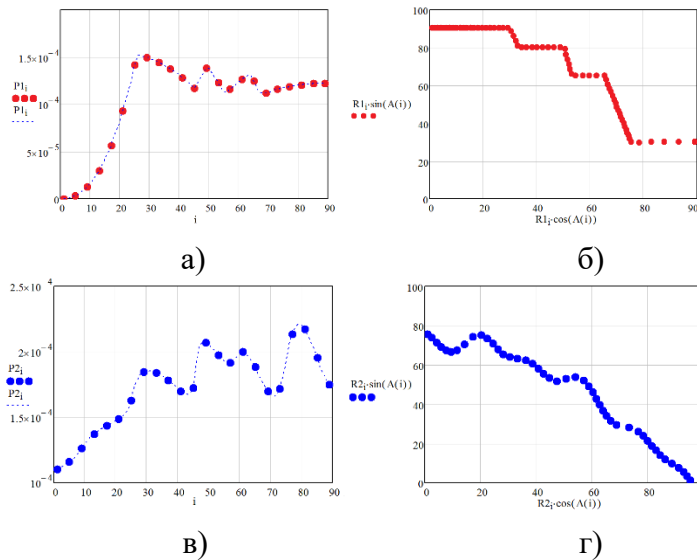


Рис. 3. Принятые сигналы  $P1(i)$ , (а) и  $P2(i)$ , (в) и восстановленные профили (б) и (г).

Результаты компьютерного моделирования наглядно подтверждают высокую эффективность метода лазерного сканирования при инженерных изысканиях и разработках в самых разных отраслях промышленности.

### Источники

1. Межерис Р. Лазерное зондирование. М.: Мир, 2007. 550 с.
2. Агишев Р.Р. Лазерное зондирование окружающей среды: методы и средства. М.: Физматлит, 2019. 264 с.
3. Агишев Р.Р. Возможности экологического мониторинга воздуха вокруг предприятий теплоэнергетики методами лазерного зондирования // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. № 3-4. С. 95-104.

УДК 536.24

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

Ю.Ф. Сабирова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

julia.sabirova01@list.ru

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. О.В. Соловьева

В статье проводится расчет оптимальных параметров для интенсификации теплообменного аппарата с пористыми вставками, которые построены в виде простой кубической решетки (SimpleCubic) (SC).

**Ключевые слова:** интенсификация, теплообменный аппарат, пористость, кубическая решетка, теплопередача.



На сегодняшний день важным аспектом для изготовления теплообменных аппаратов является эффективная интенсификация теплообмена [1]. Также широкое применение процесс теплопередачи имеет в химических, газовых, нефтяных промышленности и во многих других отраслях [2]. Интенсификация подразумевает более эффективный и экономически выгодный процесс теплообмена. Но, помимо этого, остается важным надежность, простота конструкции, технологичность и небольшая стоимость. В настоящее время существует множество методов интенсификации теплопередачи, например, увеличение теплового потока, либо уменьшение размеров оборудования, в целом это означает увеличение коэффициента теплопередачи. Интенсификация теплопередачи является ключевым моментом преобразования энергии и энергетической эффективности любых разработанных систем [3].

В данной работе представляется теплообменник с пористыми вставками, которые построены в виде простой кубической решетки (Simple Cubic) (SC). Модель задана с разными значениями пористости среды:  $\varepsilon = 0,25$ ;  $\varepsilon = 0,3$ ;  $\varepsilon = 0,35$ ;  $\varepsilon = 0,4$ ;  $\varepsilon = 0,45$ ;  $\varepsilon = 0,5$  при скорости:  $v=0,01 \text{ м/с}^2$  и  $v=0,025 \text{ м/с}^2$ . Также кубическая решетка имеет разную температуру нагрева:  $t_1=30^\circ\text{C}$ ;  $t_2=40^\circ\text{C}$ ;  $t_3=50^\circ\text{C}$ ;  $t_4=60^\circ\text{C}$ ;  $t_5=70^\circ\text{C}$ ;  $t_6=80^\circ\text{C}$ ;  $t_7=90^\circ\text{C}$ ;  $t_8=100^\circ\text{C}$ .

Численное моделирование проводится в программном комплексе ANSYS Fluent (v. 19.0).

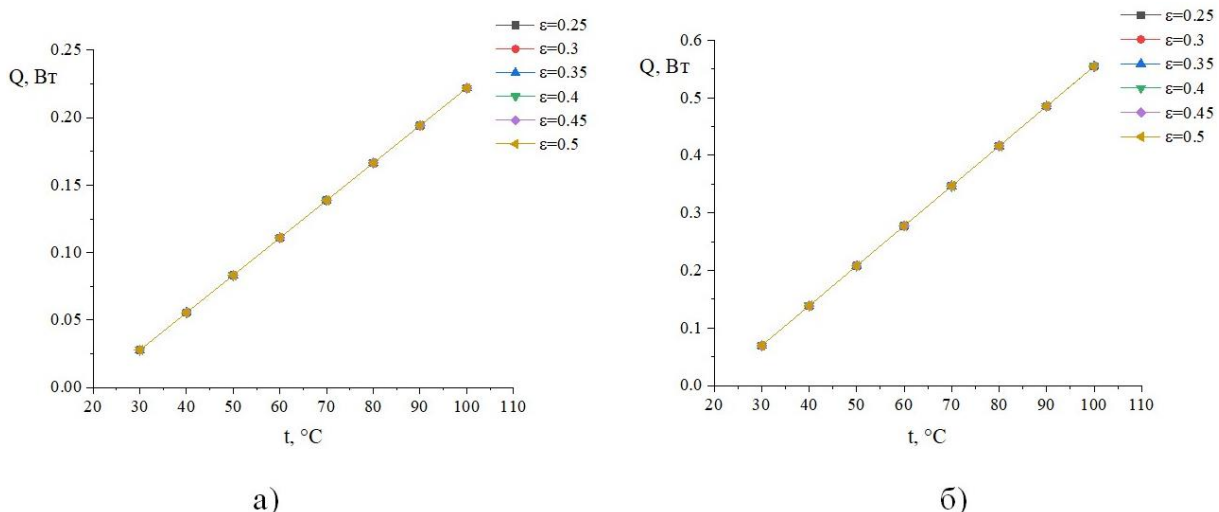


Рис. 1. Зависимость теплового потока от температуры:

а – скорость  $v=0,01 \text{ м/с}^2$ ; б – скорость  $v=0,025 \text{ м/с}^2$

Из графиков (рис. 1) видно, что все пористости ведут себя одинаково при обеих скоростях, но при скорости  $v=0,01$  м/с<sup>2</sup> тепловой поток меньше чем при скорости  $v=0,025$  м/с<sup>2</sup>, то есть при повышении скорости происходит повышение теплового потока, что говорит о более эффективной интенсификации теплообмена.

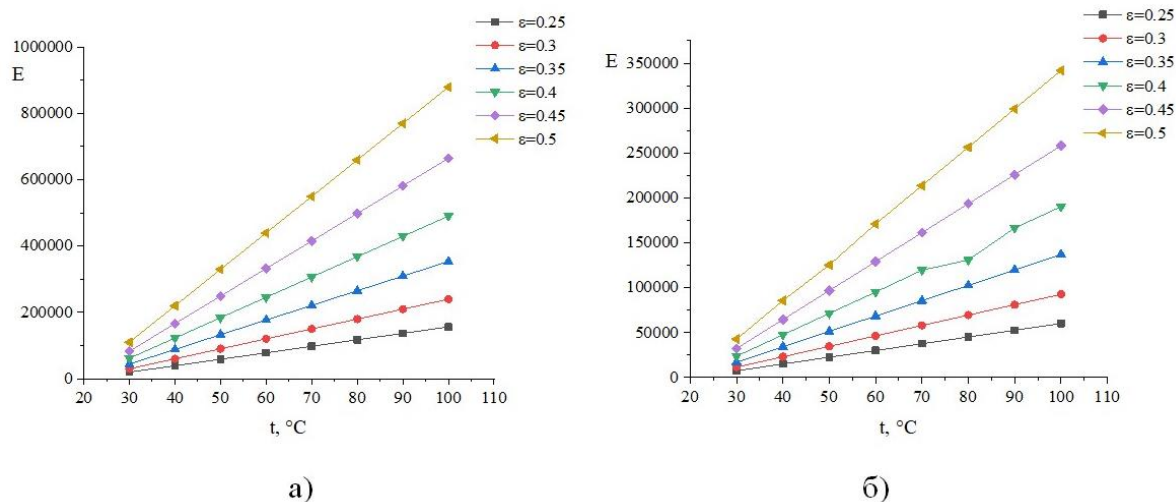


Рис. 2. Зависимости коэффициента энергетической эффективности от температуры: а – скорость  $v=0,01$  м/с<sup>2</sup>; б – скорость  $v=0,025$  м/с<sup>2</sup>

На рис. 2 показано, что энергоэффективность также зависит от температуры, более эффективная теплопередача наблюдается при пористости  $\epsilon = 0,25$  и скорости  $v=0,025$  м/с<sup>2</sup>.

Итак, изменение теплового потока и показателя энергетической эффективности показывает, что интенсификация теплообменного аппарата наблюдается при скорости  $v=0,025$  м/с<sup>2</sup>, и повышении температуры на поверхности пористой структуры.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10406, <https://rscf.ru/project/21-79-10406/>

### Источники

1. Рыдалина Н.В. [и др.] Применение пористых материалов в теплообменных аппаратах системы теплоснабжения // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. №. 3. С. 3-13.

2. Gondrexon N. [et al.] Intensification of heat transfer process: improvement of shell-and-tube heat exchanger performances by means of ultrasound // Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. 2010. Т. 49. №. 9. С. 936-942.

3. Fan Y., Luo L., Flamant G. Design of compact heat exchangers for transfer intensification // Heat and Mass Transfer Intensification and Shape Optimization. Springer, London, 2013. С. 81-111.

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕКУПЕРАЦИИ В РОССИИ И ЕВРОПЕ

Д.И. Смышляева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

dina199917@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Д.С. Бальзамов

Проведен анализ эффективности использования рекуперации в России и Европе. Рассмотрены факторы, влияющие на выбор данных систем, причины применения.

**Ключевые слова:** вентиляция, энергосбережение, рекуператор, срок окупаемости, стоимость энергии, «пассивный дом».

В настоящий момент вентиляция гражданских зданий сопровождается значительным расходом тепловой энергии и нарушением воздухообмена. Теплота расходуется на нагрев наружного воздуха в холодный период и удаление вытяжного воздуха. Воздухообмен нарушается вследствие использования современных герметичных окон, плохо налаженной работы существующих инженерных систем и их износе, в результате естественный приток становится недостаточным или вовсе прекращается, поэтому внедрение энергоэффективных решений в данной области актуально в наши дни [1].

Совмещение функций воздухообмена и энергосбережения осуществляется в рекуператоре. Рекуператор – это теплообменник, предназначенный для передачи тепловой энергии вытяжного воздуха приточному воздуху, подаваемому в помещение. Тепловой энергией здесь является как тепловая, так и холодильная энергия, то есть рекуператор может как нагревать, так и охлаждать приточный воздух.

В странах Европы стабильно внедряются энергосберегающие технологии, так как эти страны наиболее зависимы от ввозимых энергоносителей. Доля суммарного эффекта экономии тепла во вновь возводимых и реконструируемых зданиях составляет 50–70 % [2]. Более подробно рассмотрим ситуацию на примере Германии.

В Германии весьма распространено возведение «пассивных домов», которые отвечают всем требованиям энергоэффективного дома, их насчитывается более 4 тыс. по всей стране. Концепция пассивного дома была предложена доктором Лундского университета В.Файстом в 1987–1988 гг. [3].

Ключевым элементом пассивного дома является именно приточно-вытяжная установка с рекуператором. Первоначальные затраты на внедрение данной системы очень высоки, но они быстро окупаются в течение первых нескольких лет за счет отказа от традиционной системы отопления и ввиду высокой стоимости энергоносителей (данные на 2021 год: электроэнергия – 36,19 цента (37,28 руб.) за кВт·ч, газ – 12,21 цента (12,58 руб.) за кВт·час) [4]. В дальнейшем также экономятся немалые средства, поэтому использование систем с рекуперацией для немцев является долгосрочной и выгодной инвестицией.

Основными энергосберегающими решениями в России являются в основном повышенная теплоизоляция ограждающих конструкций, современные оконные конструкции, системы регулирования отопления и их автоматизация [5]. Европейскому опыту в энергосбережении уделяется мало внимания. Причинами являются низкая мотивация собственников жилья, высокая стоимость рекуператоров, невысокая стоимость энергоносителей (на единицу жилой площади в России расходуется в 2–3 раза больше энергии, чем в Европе) [2]. Также существенным препятствием является неуверенность инвесторов в стабильности работы таких систем, сложившаяся практика проектирования и достаточно долгий срок окупаемости. В большинстве случаев поставщики в России предоставляют расчеты окупаемости лишь в рекламных целях, в дальнейшем предлагая довольствоваться только ценой рекуператора и его тепловой эффективностью.

В заключение можно сделать вывод, что применение рекуператоров в Европе более распространено и работает в долгосрочной перспективе, нежели в России. Основной причиной непопулярности данных установок в России является долгий срок окупаемости и высокие первоначальные затраты на строительство. Россия не должна отставать от западных стран, поэтому следует поддерживать и развивать передовые разработки на государственном уровне.

### **Источники**

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

2. Смирнова Т.Н. Опыт эксплуатации «пассивных домов» в России и Западной Европе [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-ekspluatatsii-passivnyh-domov-v-rossii-i-zapadnoy-evrope/viewer> (дата обращения 02.03.22).

3. Файст В., Елохова А.Е. Основные положения по проектированию пассивных домов. М.: Изд-во АСВ, 2008. 144 с.

4. Цены на электроэнергию и газ в Германии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://aussiedlerbote.de/2022/01/tseny-na-elektroenergiyu-i-gaz-v-germanii-znachitelno-vyshe-chem-v-2021-godu/> (дата обращения 02.03.22).

5. Методы решения задач оценки и прогнозирования энергоэффективности // Вестник КГЭУ. 2019. Т. 11. № 2 (42). С. 103-115.

УДК 536.242

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В ЭЛЕМЕНТАХ ТЕПЛООБМЕННИКА В ФОРМЕ ПРУЖИН

А.Р. Талипова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

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

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. О.В. Соловьева

В работе представлено численное моделирование обтекания воздухом теплообменных элементов в форме пружин, расположенных под углами  $45^\circ$  и  $90^\circ$ , при одинаковой пористости упаковки элементов, равной  $\varepsilon=0,8$ . Проведен анализ влияния параметров теплообменных элементов и скорости воздуха на значения теплового потока, перепада давления и, следовательно, показателя энергетической эффективности.

**Ключевые слова:** теплообменный элемент, теплообмен, перепад давления, численное моделирование, энергоэффективность.

Теплообменники являются неотъемлемой частью систем охлаждения [1]. Многие исследования направлены на улучшение характеристик теплообменника и создание конструкции, которая была бы ориентирована на максимальную теплопередачу при минимизации потерь давления [2]. Одним из методов улучшения теплообмена является применение высокопористых материалов, обладающих малым весом, низкой плотностью и высокой теплопроводностью [3, 4]. Использование в теплообменнике металлической пены улучшает скорость теплопередачи, но создает и дополнительный перепад давления, из-за чего повышаются затраты мощности на прокачку воздуха. Результаты численных и экспериментальных исследований демонстрируют, что форма теплообменных элементов напрямую влияет на тепловые и динамические характеристики теплообменника [5].

Целью данной работы является исследование влияния угла расположения и пористости упаковки теплообменных элементов в форме пружин на значение перепада давления и тепловой поток.

Рассматривается обтекание воздухом теплообменных элементов в форме пружин. Для расчета в программном комплексе ANSYS Fluent (v.19.2) созданы модели нагретых элементов, размещенных под углами  $45^\circ$  и  $90^\circ$  при значении пористости упаковки  $\varepsilon=0,8$ . Анализ проводился для разных скоростей потока обтекающего воздуха: 0,01; 0,05; 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25 м/с.

На рис. 1 приведены графики изменения теплового потока и перепада давления в зависимости от скорости воздуха. Из графиков видно, что элементы, расположенные под углом  $45^\circ$ , показывают значения теплового потока и перепада давления выше, чем элементы, расположенные под углом  $90^\circ$ .

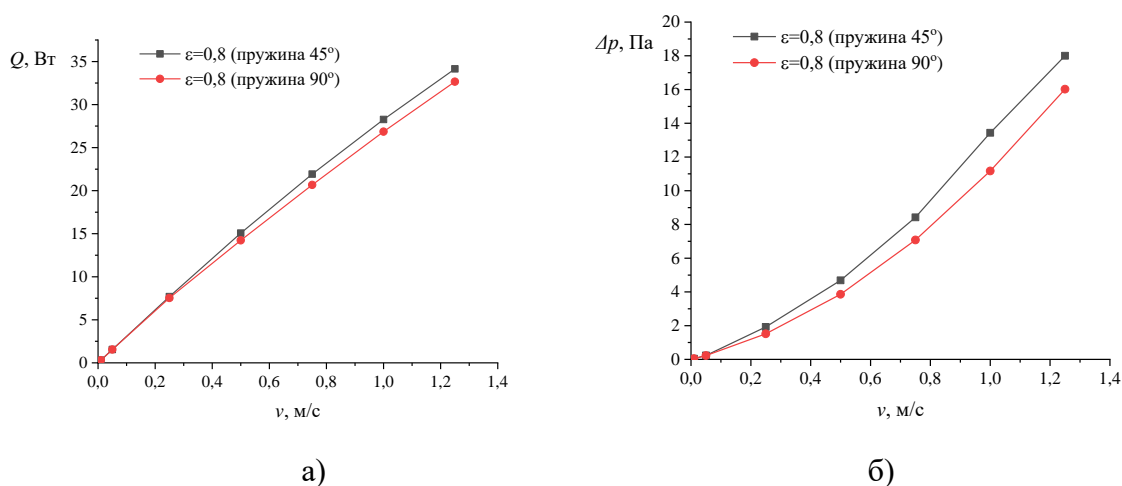


Рис. 1. Изменения теплового потока (а) и перепада давления (б) в зависимости от скорости воздуха

Элементы, расположенные под углом  $90^\circ$ , обеспечивают заметно меньший перепад давления в сравнении с элементами, расположенными под углом  $45^\circ$ . В связи с этим, пружины, расположенные под углом  $90^\circ$  имеют большее значение показателя энергоэффективности [6] при заданной пористости (рис. 2). Предпочтительными для прокачки воздуха являются скорости 0,25–1,25 м/с.

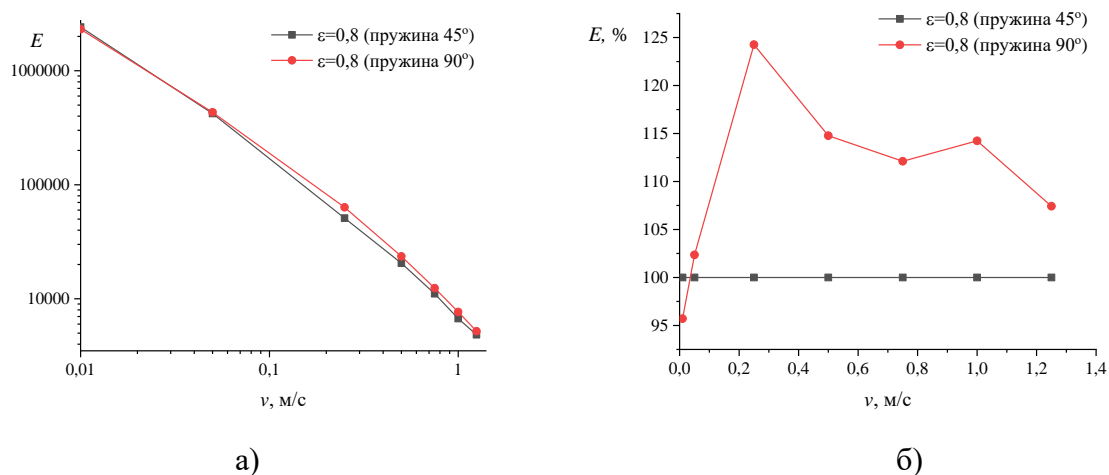


Рис. 2. Изменение показателя энергетической эффективности (а) и изменение показателя энергоэффективности в процентах относительно пружин, размещенных под углом 45° (б), в зависимости от скорости воздуха

В представленной работе проведено исследование обтекания воздухом теплообменных элементов в форме пружин, размещенных структурировано под углами 45° и 90°, при пористости упаковки элементов  $\varepsilon=0,8$ . Исходя из результатов исследования, можно сделать вывод, что элементам, размещенным под углом 45°, соответствуют наибольшие значения теплового потока при исследуемых скоростях. Элементам, размещенным под углом 90°, соответствуют наименьший перепад давления и, как следствие, наибольшие значения показателя энергоэффективности. Проведенное исследование может лечь в основу разработки теплообменников с более высокой эффективностью и меньшими затратами.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10406, <https://rscf.ru/project/21-79-10406/>.

### Источники

1. Kumar B., Srivastava G., Kumar M., Patil A.K. A review of heat transfer and fluid flow mechanism in heat exchanger tube with inserts // Chemical Engineering and Processing-Process Intensification. 2018. V. 123. P. 126-137.

2. Soloveva O.V., Solovev S.A., Khusainov R.R., Yafizov R.R. Investigation of hydrodynamics and convection in the porous car heat exchanger // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 918. №. 1. P. 1-6 (012169).

3. Соловьева О.В., Яфизов Р.Р., Соловьев С.А. Определение эффективной длины пористой структуры при конвективном теплообмене // Вестник КГЭУ. 2020. Т. 12. № 3. С. 47.

4. Рыдалина Н.В., Аксенов Б.Г., Степанов О.А., Антонова Е.О. Применение пористых материалов в теплообменных аппаратах системы теплоснабжения // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 3.

5. Kareem H.H., Shehab S.N. Heat convection enhancement of heat exchanger with cylindrical spring inserts: A numerical analysis // Journal of Mechanical Engineering Research and Developments. 2021. V. 44. №. 7. P. 370-381.

6. Бажан П.И., Каневец Г.Е., Селиверстов В.М. Справочник по теплообменным аппаратам. М.: Машиностроение. 1989. С. 200.

УДК 536.242

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ТЕПЛООБМЕННИКЕ С ПОРИСТЫМИ ГРАНУЛАМИ

А.Р. Талипова<sup>1</sup>, Ю.Ф. Сабирова<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>talipovaazaliya@mail.ru, <sup>2</sup>julia.sabirova01@list.ru

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. О.В. Соловьева

В работе представлено численное моделирование течения воздуха через гранулированный слой с перфорированными гранулами диаметром 5 мм с различным диаметром отверстия: 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,25; 2,5; 2,75; 3; 3,25; 3,5; 4 мм. Проведен анализ влияния диаметра отверстия в гранулах и скорости воздуха на тепловой поток, перепад давления и, как следствие, на значение энергетической эффективности.

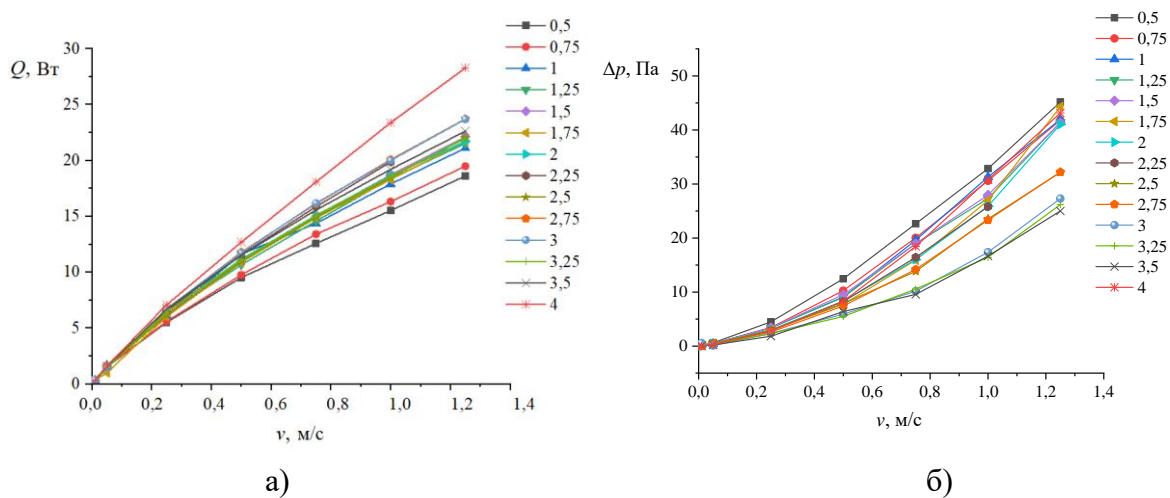
**Ключевые слова:** гранулированный материал, теплообмен, перепад давления, расчет, энергоэффективность.

Теплообменник играет важную роль в производстве и является универсальным оборудованием для химической, нефтяной, энергетической и многих других отраслей промышленности [1, 2]. Применение гранулированных материалов в качестве основы для теплообменников заинтересовало многих исследователей [3–6], которые изучили различные формы и размеры гранул. Однако в литературе отсутствуют исследования тепловых характеристик перфорированных гранул. Структурные характеристики считаются доминирующими факторами, определяющими эффективные свойства гранулированных сред, особенно в сфере явлений теплового переноса.



Данная работа направлена на численный анализ влияния диаметра отверстия гранулы на значение перепада давления и тепловой поток. В программном комплексе ANSYS Fluent (v.19.2) созданы модели гранул с диаметром 5 мм с разным диаметром отверстий: 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,25; 2,5; 2,75; 3; 3,25; 3,5; 4 мм.

На рисунке приведены графики изменения теплового потока и перепада давления в зависимости от скорости воздуха для гранулированного слоя с различным диаметром отверстия в гранулах.



Изменение теплового потока (а) и перепада давления (б) в зависимости от скорости воздуха для гранулированного слоя с различным диаметром отверстия в гранулах

В представленной работе проведено исследование течения воздуха через гранулированный слой с перфорированными гранулами диаметром 5 мм с различным диаметром отверстия: 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,25; 2,5; 2,75; 3; 3,25; 3,5; 4 мм. Исходя из выполненных расчетов, можно сделать вывод, что наибольшее значение теплового потока соответствует гранулированному слою с диаметром отверстия в гранулах 4 мм. Наименьший перепад давления соответствует гранулированным слоям с диаметром отверстия в гранулах 3; 3,25 и 3,5 мм. Наименьшее значение теплового потока и наибольшее значение перепада давления демонстрирует гранулированный слой с диаметром отверстия в гранулах 0,5 мм.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10406, <https://rscf.ru/project/21-79-10406/>.

### Источники

1. Соловьева О.В., Яфизов Р.Р., Соловьев С.А. Определение эффективной длины пористой структуры при конвективном теплообмене // Вестник КГЭУ. 2020. Т. 12. № 3. С. 47.
2. Фарахов Т.М., Лаптев А.Г. Моделирование температурных профилей и эффективности теплообменных аппаратов с интенсификаторами // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 2. С. 12-18.
3. Shao W., Cui Z., Chen Z.Y., Wang J.C., Liu Y., Ren X.H., Luo F. Experimental and numerical measurements of the channel packed with disordered cement granules regarding the heat transfer performance // Appl. Energy. 2019. 251. 1-6.
4. Solodka A., Volgusheva N., Boshkova I., Titlov A., Rozhentsev A. Investigation of heat exchange in a blown dense layer of granular materials // East.-Eur. J. Enterp. Technol. 2017. 5(8). P. 58–64.
5. Soloveva O.V., Khusainov R.R., Yafizov R.R. CFD modeling of aerosol flow through a granular filter with porous granules // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2020. 734(1). 1-6.
6. Soloveva O.V., Solovev S.A., Yafizov R.R. Numerical Simulation of the Aerosol Particle Motion in Granular Filters with Solid and Porous Granules // Processes. 2021. 9(2). 1-16.

УДК 624.014

## ОПТИМАЛЬНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ БАШЕН ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Л.А. Токарева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

liyaandreevna1999@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Л.С. Сабитов

В статье приведена классификация башен по конструктивному решению, рассмотрено влияние выбора конструкции и предложены оптимальные конструктивные решения, которые учитывают надежность, себестоимость, материалоемкость и являются энерго-ресурсоэффективными.

**Ключевые слова:** башня, ветроэнергетическая установка, конструкция, надежность, энергоэффективность.

В современном энергетическом строительстве, в частности при строительстве башен ветроэнергетических установок, используют конструкции двух типов – решетчатые и сплошностенчатые (рис. 1). При проектировании данных конструкций возникает задача выбора оптимального применения этих наиболее представленных типов башен в зависимости от их высоты и приложенной нагрузки [1].

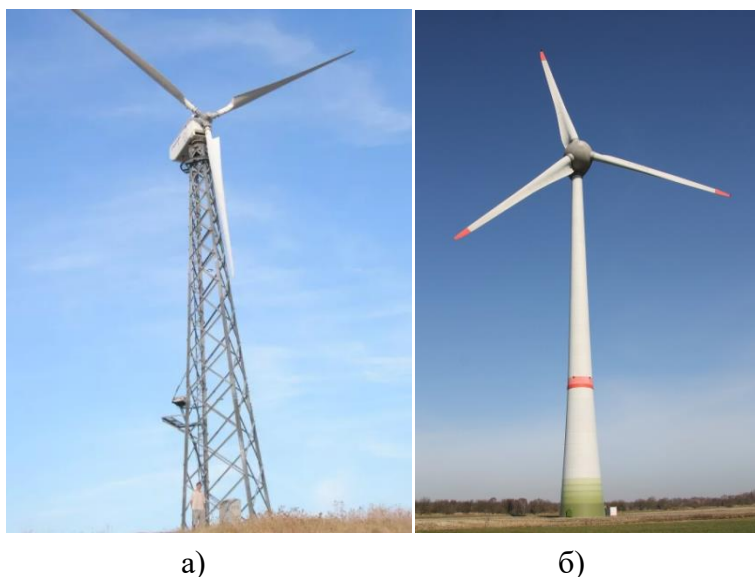


Рис. 1. Башни ветроэнергетических установок: а – решетчатая башня;  
б – башня, выполненная в виде конической трубы

Металлическая сплошностенчатая конструкция является самой ходовой и распространенной конструкцией, обладающей хорошей обтекаемостью и меньшими расходами при эксплуатации. Сплошностенчатые башни содержат от двух до пяти сегментов длиной от 20 до 30 м каждый [2]. Но при использовании данной конструкции возникают проблемы при транспортировке.

Решетчатые конструкции представляют собой строительные конструкции, состоящие из прямолинейных стержней скрепленных узловыми соединениями [3]. Основным преимуществом при выборе такой конструкции является их незначительная масса, соответственно, меньшее использование металла в сравнении со сплошностенчатыми конструкциями.

Решетчатые конструкции подразделяют на плоские – это арки, рамы фермы, и пространственные, к которым относятся перекрестно-стержневые и перекрестно-ребристые плиты, купола и своды [3].

Основной задачей при проектировании башен ветроэнергетических установок является выбор формы ее очертания, размеров, высокая несущая способность при минимальной металлоемкости и минимальное потребление энергоресурсов. Также при выборе конструктивной схемы башенного сооружения необходимо обеспечить снижение аэродинамического сопротивления сооружения [4].

Наиболее рациональными решетчатыми конструкциями, отвечающими данным задачам, являются трехгранные решетчатые конструкции (рис. 2). Они содержат пояса, соединенные на каждой грани распорками и раскосами на сварке. Пояса выполнены из двутавров, распорки – из тавров, при этом распорки полкой тавра наложены на обушок полки двутавра, а торцом уперты в его стенку, раскосы, выполненные из уголка, концами прикреплены к полкам тавра [5].

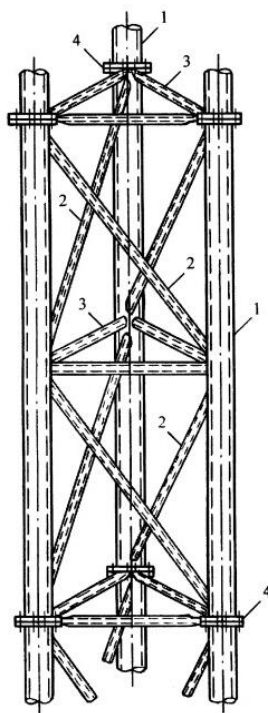


Рис. 2. Трехгранная решетчатая опора

Выбор трехгранных решетчатых конструкций и внедрение их в строительство башенных ветроэнергетических установок в настоящее время является оптимальным решением, которое позволяет обеспечить высокую несущую способность башни, меньшие затраты при производстве относительно трубчатых конструкций, простота при транспортировке, что повышает эффективность использования топливо-энергетических ресурсов.

## Источники

1. Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Бадертдинов И.Р. К вопросу о рациональном типе поперечного сечения опор // Энергетика Татарстана. 2016. №1(41). С. 47-51.
2. Башни и мачты [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.wind-energie.de/themen/anlagentechnik/konstruktiver-aufbau/turm-und-mast/> (дата обращения 10.03.22).
3. Металлические конструкции. Общий курс: учебник для вузов / Е.И. Беленя, В.А. Балдин, Г.С. Ведеников и др; под общ. ред. Е.И. Беленя. М.: Стройиздат, 1986. 560 с.
4. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 2. Конструкции зданий: учебник для строительных вузов; под ред. В.В. Горева М.: Высш. шк., 1999. 528 с.
5. Трехгранная решетчатая конструкция: пат. 2378469 Рос. Федерация № 2008140220/03 заявл. 09.10.2008; опубл. 10.01.2010; Бюл. №1.

УДК 676:62-67

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

И.В. Холмогоров<sup>1</sup>, Н.Н. Фаизов<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>ivanxolmogorov@gmail.com

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

Главной проблемой нынешнего энергоэффективного производства является чрезмерное потребление зданиями энергоресурсов, вырабатываемых из традиционных источников энергии. Обеспечение даже современных помещений отоплением, в том числе горячим водоснабжением требует больших объемов энергии. В работе предложено применение тепла сточных вод в качестве вторичного источника энергии в целлюлозно-бумажной промышленности.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, сточные воды, вторичные энергоресурсы, целлюлозно-бумажная промышленность.

Предприятия в процессе своей деятельности выбрасывают вредные вещества в воду, почву, воздух. Производство бумаги, картона требует большого количества воды. Одна из важнейших задач нынешних технологий – создание технологических операций, которые минимизируют или исключают вредные выбросы в окружающую среду. Существует несколько способов утилизации отходов, например, сброс в открытые воды, сжигание и использование в качестве удобрений. Все из перечисленных методов вредят окружающей среде: загрязняют водоемы и разрушают озоновый слой. Повторное использование ресурсов является основной тенденцией решения экологических проблем на производстве.

На примере Набережночелнинского картонно-бумажного комбината проанализируем использование тепла сточных вод в качестве вторичного источника энергии. Компания является одним из крупнейших предприятий целлюлозно-бумажной отрасли России и занимает 7 % отечественного рынка гофрокартона и 15 % рынка туалетной бумаги. На данном предприятии уже реализуются вторичная переработка бумаги, что позволяет сберечь приблизительно 1 млн. деревьев в месяц [1].

При производстве бумаги образуется большой объем воды, на 1 т сырья приходится около 70 тыс. л воды, с температурой приблизительно 45 °С. Значительная доля воды, используемой в производстве бумажных изделий, очищается, возвращается в окружающую среду и чаще всего повторно используется в процессе изготовления бумаги. Фактически потребляемый объем воды, который остается в готовой продукции и улетучивается при производстве составляет не более 15 % [2]. На производстве около трети энергозатрат используется для работы машин и высушивания бумаги, поэтому фабрики пытаются снизить энергопотребление.

Оптимизация данного процесса заключается в повторном использовании теплоты сточных вод в качестве первоначального источника подогрева подаваемой в здание холодной воды, идущей для нужд горячего водоснабжения и отопления. Чтобы сократить расход газа на предприятии необходимо установить тепловые насосы, работающие по принципу цикла Карно: движущееся по замкнутой системе вещество и в нашем случае меняющее свое жидкое состояние под воздействием термических факторов в газообразное, высвобождает энергию в виде тепла [3]. В природе даже в холодное время года на некоторой глубине сохраняются положительные температуры, поэтому круглый год можно получать тепловую энергию без вреда для окружающей среды (см. рисунок).

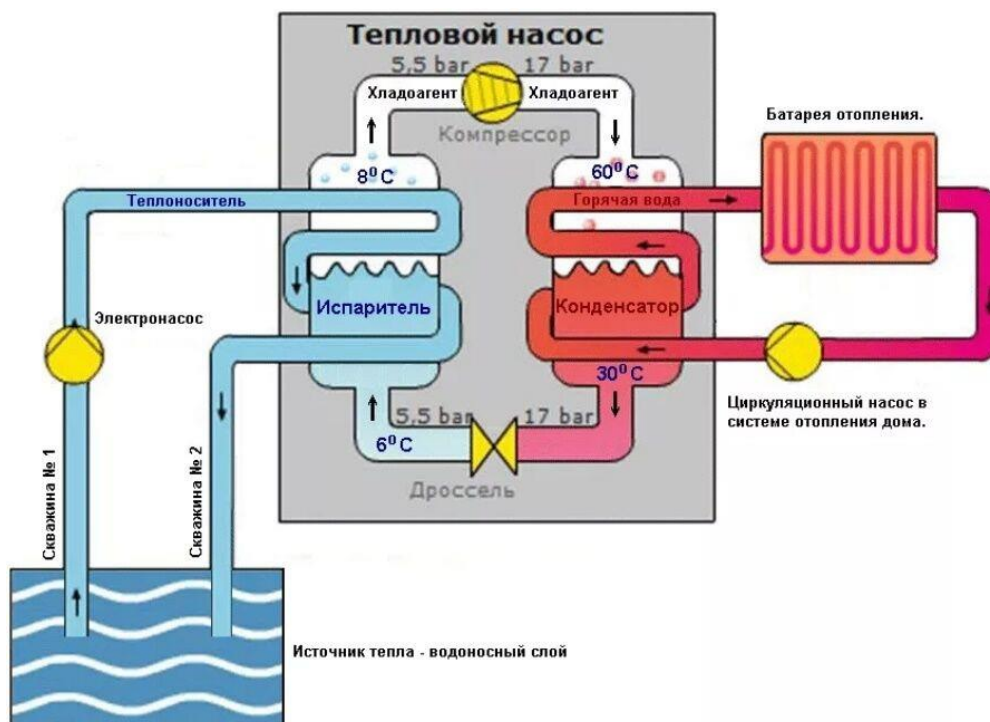


Схема устройства отопления с тепловым насосом

Среди главных минусов установки можно выделить высокие затраты на электроэнергию и потребность в приобретении дополнительного оснащения. В теплое время года тепловые насосы возможно переключить в режим охлаждения и использовать сточные воды для кондиционирования воздуха. Данная система экологична и проста в эксплуатации.

В заключении можно сказать, что приведенный способ использования сточных вод хорошо зарекомендовал себя в развитых европейских странах, он позволяет снизить негативное влияние на окружающую среду. На предложенном объекте внедрение повторного использования сточных вод для обогрева является экономически выгодной и ресурсоэффективной инвестицией.

### Источники

1. Сведения о Набережночелнинском КБК [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://realnoevremya.ru/articles/76626-reportazh-s-naberezhnochelninskogo-kartonno-bumazhnogo-kombinata> (дата обращения 10.03.2022).

2. Иванов С.Н. Технология бумаги; 3-е изд. М.: Школа бумаги, 2006. 696 с.

3. Принцип устройства теплового насоса [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sovet-ingenera.com/eco-energy/teplovye-nasosy/teplovoy-nasos-voda-voda.html> (дата обращения 10.03.2022).

## К РАСЧЁТУ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ УСИЛЕННОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЭЛЕМЕНТА СТАЛЕФИБРОБЕТОННОЙ «РУБАШКОЙ»

Л.А. Шарафутдинов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
sh.\_linar@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. О.В. Радайкин

На основе численных экспериментов в ПК ANSYS и натурных испытаний приведены расчётные схемы усилий и деформаций нормального сечения усиленного железобетонного элемента сталефибробетонной (СФБ) «рубашкой» на всех стадиях работы, а также алгоритм расчёта прочности.

**Ключевые слова:** реконструкция, усиление, нелинейная деформационная модель, сталефибробетон, прочность, жёсткость, трещиностойкость.

На основе дискретной нелинейной деформационной модели [1], физического и численного экспериментов составлены расчётные схемы усилий и деформаций нормального сечения усиленного железобетонного элемента на всех стадиях работы (см. рисунок). Так в работе усиленных балок выделены 4 характерные стадии.

До усиления: I\* – упругая работа до стадии Ia\*, II\* – неупругая работа, трещинообразование.

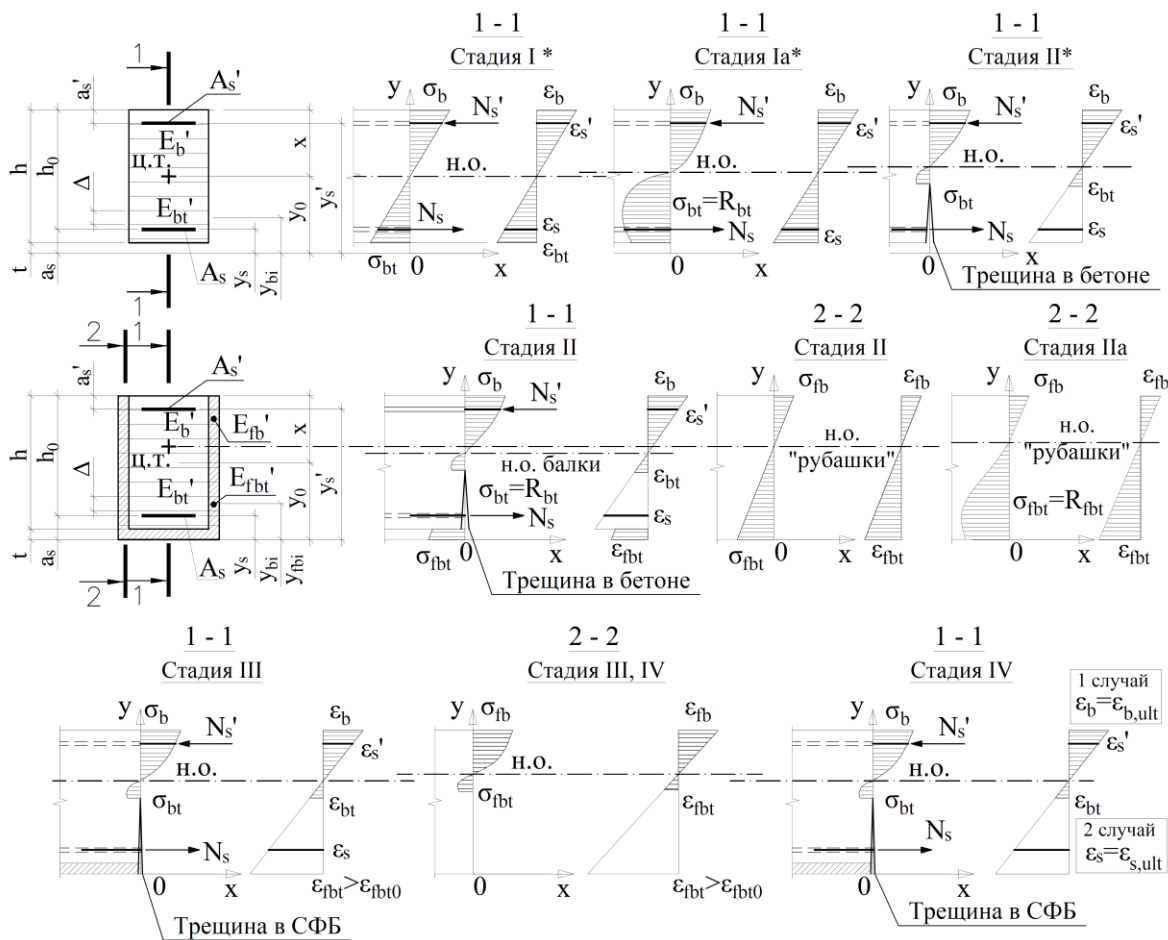
После усиления: II – работа усиленной конструкции с трещиной в балке, IIa – искривление эпюры напряжений в СФБ «рубашке», III – трещинообразование в сталефибробетоне, IV – разрушение.

В момент усиления (стадия II\*)  $t_0$  железобетонная балка имеет начальное положение нейтральной оси  $y_0(t_0)$  и начальную кривизну  $\frac{1}{r_x}(t_0)$ .

После усиления при увеличении нагрузки (стадия II) в момент времени  $t$  кривизна основного сечения балки увеличивается на величину кривизны дополнительного сечения  $\frac{1}{r_{ad,x}}(t)$ .

На рисунке (стадия II) видно, что деформации в СФБ рубашке меньше, чем на нижней растянутой грани бетона основного сечения. Это объясняется наличием начальных деформаций бетона основного сечения, полученными до момента усиления, в СФБ «рубашке» деформации появляются лишь при увеличении нагрузки после усиления.





Расчетная схема нормального сечения изгибаемого железобетонного элемента с СФБ «рубашкой» на всех стадиях нагружения с учётом предварительного нагружения

Расчёт [2] прочности по нормальному сечению, трещиностойкости и прогиба в середине пролёта железобетонных балок усиленных сталефибробетонной «рубашкой» с применением нелинейной деформационной модели [1] выполняется в 4 этапа. На 1-м этапе рассчитывается железобетонная балка без усиления на действие нагрузки до усиления, далее на 2-м этапе выполняется разгрузка, на 3-м этапе определяется напряжённно-деформированное состояние нормального сечения усиленной балки с учётом усадочных деформаций от «рубашки» из сталефибробетона, на 4-м этапе выполняется расчёт усиленного железобетонного элемента сталефибробетонной «рубашкой», определяются момент трещинообразования, момент разрушения, прогиб, ширина раскрытия трещин, НДС конструкции на всех этапах нагружения.

### **Источники**

1. Radaykin O.V. Theoretical foundations of the diagram method for calculating rod elements made of reinforced concrete // Building and reconstruction. 2020. Т. 92. № 6. Р. 26–42.

2. Свидетельство № 2022613574. Расчёт усиления железобетонных балок сталефибробетонной «рубашкой» с применением нелинейной деформационной модели по нормальному сечению: программа для ЭВМ / Радайкин О.В., Шарафутдинов Л.А. (RU); правообладатель ФГБОУ ВО КГЭУ. № 2022612208; заявл. 22.02.22; опубл. 14.03.2022, Бюл. № 3. 2,18 Мб.

## Секция 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

УДК 621.311.24

### ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА КАК УСТРОЙСТВО ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Д.Р. Абдрахманов<sup>1</sup>, А.С. Марченко<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup> danis1108@mail.ru, <sup>2</sup> kete-chan@mail.ru

В тезисе рассматривается ветроэнергетическая установка в качестве преобразователя возобновляемой энергии ветра в электричество. Исследуются разновидности ветроэнергетических установок и их особенности.

**Ключевые слова:** ветроэнергетическая установка, возобновляемая энергия, энергия ветра, автономное электроснабжение.

На сегодняшний день запасы органического топлива на нашей планете (нефти, газа, угля) быстро сокращаются. Опустошение земных недр и сжигание органического топлива вредят нашей планете и ухудшают экологию. По этой причине человечеству необходимо освоить возобновляемые источники энергии [1].

На данный момент целью моего исследования является обоснование целесообразности использования ветра в качестве альтернативного источника электроэнергии.

Проблемы нехватки топлива в скором времени может стать глобальным вопросом, если человечество не начнет задумываться об этом уже сейчас, это приведет к остановке большинства технологических процессов.

К основным видам возобновляемых источников энергии относятся: солнечное излучение, гидроэнергия, энергия ветра, геотермальная энергия.

В качестве решения проблемы предлагается внедрение ветроэнергетических установок (ВЭУ) и использования ветра в качестве источника энергии.

Самыми распространенными являются ВЭУ следующих типов: крыльчатые (ось вращения горизонтальная) и карусельные (ось вращения вертикальная). Широко применяются ветроустановки с горизонтальной осью вращения. КПД крыльчатых ветроустановок значительно выше, чем у ветроустановок с вертикальной осью и достигает 50 % [2].

Скорость вращения крыльчатых ветроустановок обратно пропорциональна количеству лопастей, поэтому широкое распространение получили агрегаты, имеющие 2–3 лопасти. Чем больше мощность, тем больше размер лопастей. Вращающий момент на ветроколесе появляется за счет подъемной силы, возникающей из-за разности давлений под и над крылом [3].

Современные ВЭУ имеют 3 режима управления: автоматический, автоматизированный и ручной. Каждый из этих режимов используется по необходимости. Например, ручной режим используется при демонтаже из-за какой-либо неисправности. Автоматический режим, хоть и не исключает оператора, но упрощает ему работу, так как система работает по заданным алгоритмам. В автоматизированном режиме оператор имеет возможность дистанционного управления.

К недостаткам ВЭУ данного типа можно отнести следующее:

1. Высокий уровень шума. Генерируется интенсивный инфразвук, вызывающий у людей чувство беспокойства и угнетенное состояние. Инфразвук также отрицательно действует на животных и птиц.

2. Нарушение теплового баланса земной поверхности при интенсивном применении ветроустановок. Это может изменить розу ветров в находящихся поблизости промышленных зонах.

3. Отражение радиоволн вращающимися лопастями. Тем самым затрудняется работа навигационной аппаратуры самолётов и полёт телесигнала.

4. Сложный процесс утилизации лопастей после эксплуатации в течение 20 лет.

К преимуществам относятся: возобновляемость и доступность природного ресурса; отсутствие вредных выбросов в атмосферу; в сравнении с ВЭУ вертикального типа, обладает большей быстроходностью и большей вырабатываемой мощностью [4]; окупаемость.

В заключение стоит отметить, что крыльчатые ветроустановки наиболее производительны при больших мощностях и в местности, где скорость ветра должна быть как минимум 12–15 м/с. А карусельные ветроустановки способны продуктивно работать при малой скорости ветра и небольшой мощности (до 10 кВт). С моей точки зрения, использование ветра в качестве альтернативного источника энергии является наилучшим решением проблемы, так как ветроустановки приносят минимальный вред окружающей среде и меньшие денежные затраты, чем другие агрегаты.

### Источники

1. Гарипов М.Г. Ветроэнергетика // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16, №. 2. С. 64-66.
2. Валентей О.А., Артамонова Е.Ю., Шепелев А.О. Основные типы ветроустановок //Актуальные вопросы энергетики: материалы Межд. науч.-практ. конф. Омск, 2017. С. 111-114.
3. Михайленко Е.Ю. Обзор существующих конструкций ветроэнергетических установок // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2013. Т. 2. №. 13. С. 188-193.
4. Сиякин Р.С. Альтернативные источники энергии // Новые технологии в теплоснабжении и строительстве. 2018. С. 79.

УДК 681.516.32

## АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЫМОУДАЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ АДМИНИСТРАТИВНО-СКЛАДСКОГО КОМПЛЕКСА

Д.Б. Абзалов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

esports\_707@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Н.В. Богданова

При возникновении пожаров система дымоудаления является неотъемлемой частью системы для обеспечения безопасности персонала предприятий. Система дымоудаления должна быть грамотно спроектирована с учётом технического задания и всех особенностей производства.

**Ключевые слова:** автоматизация, дымоудаление, безопасность, пожар, огнезадерживающие клапаны.

Основная цель системы дымоудаления – обеспечение безопасных условий для эвакуации людей из здания в случае возникновения пожара [1].

Объект представляет собой часть производства – здание, административно-складской комплекс, которое включает в себя три пожарных отсека: складская зона, административно-бытовой комплекс (АБК) и инженерно-бытовая зона. Структурная схема диспетчеризации противопожарной вентиляции этих отсеков представлена на рис. 1.

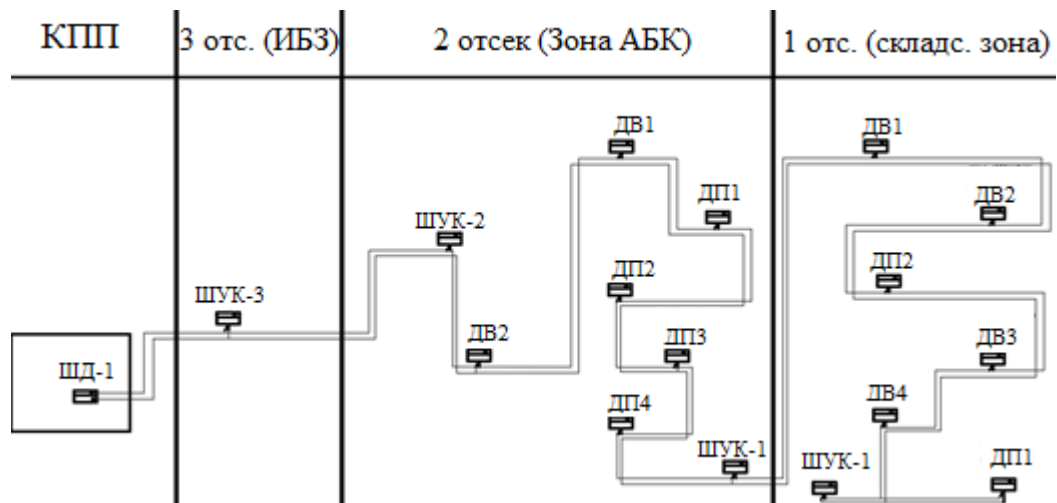


Рис. 1. Структурная схема диспетчеризации противопожарной вентиляции

Автоматизация системы предусматривает три режима управления: местный (ручной), автоматический, а также дистанционный режим управления огнезадерживающими клапанами (ОЗК) [3, 5].

Местный режим управления предусматривает активацию ОЗК при возникновении пожара от элементов управления на лицевой панели шкафов управления.

Автоматический режим управления предусматривает активацию ОЗК при возникновении пожара от электрического сигнала системы автоматической пожарной сигнализации.

Дистанционный режим управления предусматривает активацию ОЗК при возникновении пожара от шкафа диспетчеризации противопожарной системы (ШД-1).

Фрагмент функциональной схемы автоматизированной системы управления дымоудаления, спроектированной для данного комплекса, представлен на рис. 2. Она выполняет следующие функции:

- получение сигнала о пожаре по зонам с центрального пульта пожарной сигнализации, согласно техническому заданию;
- автоматический пуск установок дымоудаления и подпора воздуха;
- местное отключение и восстановление режима автоматического пуска установки, дистанционный пуск;
- дистанционный пуск систем дымоудаления и систем пожаротушения от постов управления на путях эвакуации [2].

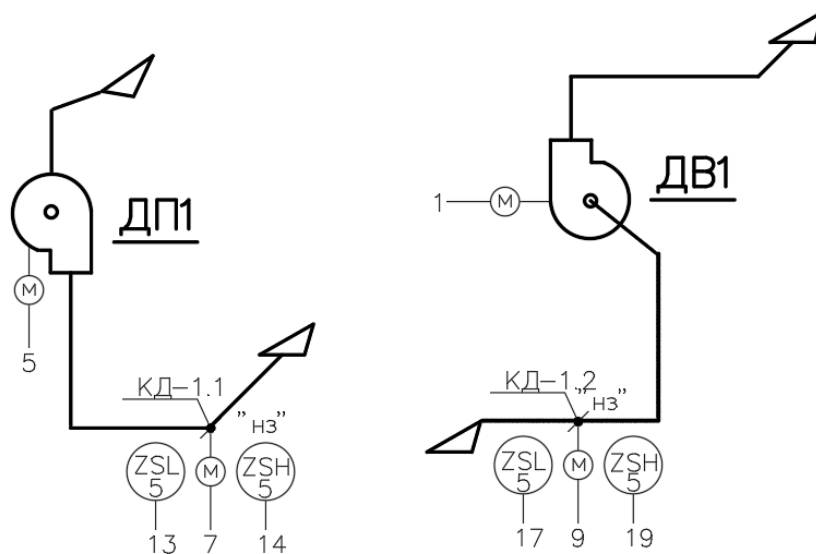


Рис. 2. Функциональная схема автоматизации дымоудаления

Грамотно спроектированная система дымоудаления способствует заблаговременному оповещению персонала о возникновении пожара, следовательно, обеспечивает возможность его своевременной эвакуации из здания [4]. Такие системы необходимы как на производствах, так и в общественных зданиях, где безопасность жизни людей стоит на первом месте.

### Источники

1. Казанина И.В., Разбицкий Е.В., Автоматизация систем управления метрополитена г. Алматы // Актуальные научные исследования в современном мире. 2019. №12. С. 96-101.

2. Колесниченко Е.Л., Сивков Ю.В., Автоматизация системы пожаротушения и дымоудаления в здании ДК «Строитель» г. Тюмени // Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (опыт, инновации). 2014. №12. С. 240-243.

3. Киселева А.А., Смирнов В.Д., Внедрение современных систем дымоудаления в производственных помещениях // Техносферная безопасность. 2019. С. 104-106.

4. Рябова В.И., Андреев А.А. Система дымоудаления в многоквартирном доме // Научные горизонты. 2019. № 9. С. 184-188.

5. Системы вентиляции: виды, устройство, назначение. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tion.ru/ventilyaciya/> (дата обращения 12.02.22).

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ «УМНЫЙ ДОМ»

А.Х. Баймурзин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

albertkhamitovich@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, зав. каф. В.В. Плотников

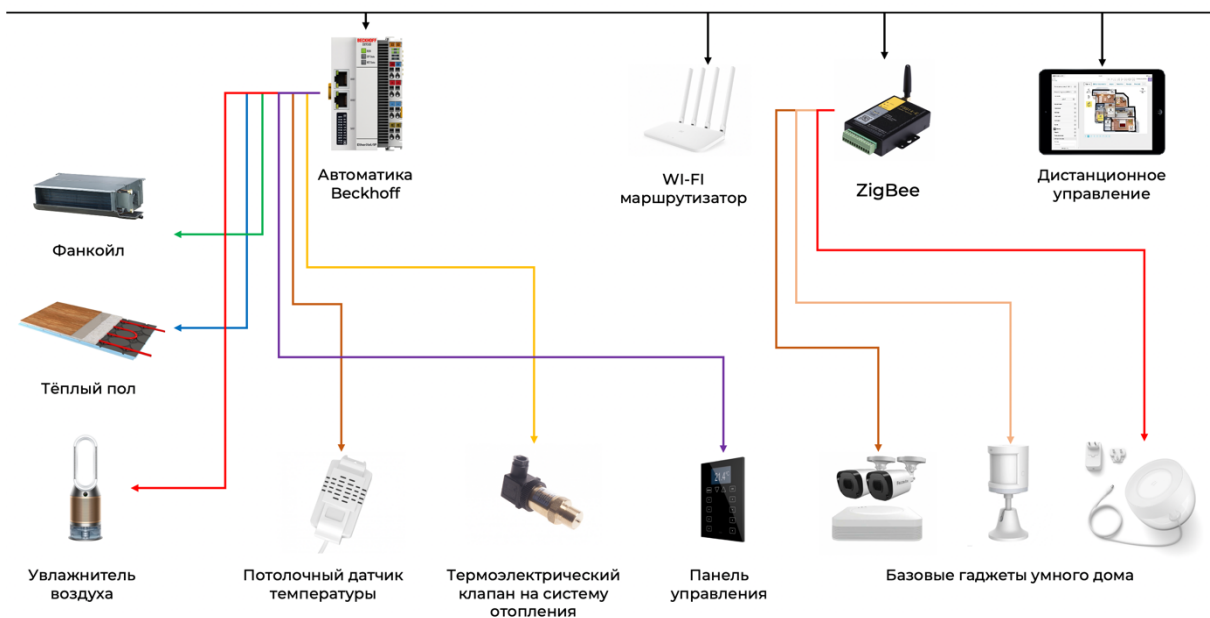
В работе рассмотрена комплексная автоматизированная система мониторинга и управления жизнеобеспечения «Smart House», отметили актуальность на рынке России, достоинства и недостатки, а также обозначили перспективные направления.

**Ключевые слова:** автоматизация, системы мониторинга, перспективные направления, актуальность.

Идея создания дома функционирующего в автономном режиме без участия человека берет свое начало в середине XX века, когда ученые фантасты пытались запрограммировать компьютеры на включение систем и приборов по расписанию. Первый прорыв произошел в 1978 г., когда компания Pico Electronics представила новейший стандарт передачи данных, благодаря созданию шины, с возможностью оснастить ею любой прибор, находящийся у вас дома, это похоже на универсальный язык программирования, доступный широкому кругу лиц и отличающийся своей многофункциональностью. Вы могли подключить модули связи, точные, программируемые пульты управления, функционирующие непосредственно с персональным компьютером, тогда и появился термин «Smart House» – система автоматизации умного дома. На данный момент, в России существует большое количество коммерческих компаний занимающиеся установкой систем умного дома, разного уровня сложности и функционала. В первую очередь система «Умный дом» ориентирована на людей, беспокоящихся о своей безопасности, готовые обеспечить максимальный уровень комфорта и рационального использования ресурсов домохозяйства. При проектировании автоматизированного домохозяйства, необходимо учитывать все факторы и предпочтения заказчика [1, 2].



Система умного дома включает в себя разнообразные датчики и сенсоры, расположенные в комнатах, а также на территории расположенного дома, что в свою очередь формирует единую систему жизнеобеспечения. «Smart House» состоит из систем безопасности, инженерных систем, а также телекоммуникационной, которая является связующим элементом для формирования единой базы полученных данных от вспомогательных систем. Телекоммуникационная система состоит из телефонии, сервера ZigBee, системы автоматического управления Beckhoff, Wi-Fi роутеров, обеспечивающие передачу информации, считанных с датчиков и сенсоров. Система безопасности включает в себя камеры слежения, охранные системы и системы предупреждения аварийных чрезвычайных ситуаций. Инженерная составляющая состоит из устройств контроля и управления газоснабжения, теплоснабжения, электроснабжения, водоснабжения, вентиляционных и ветровых систем [3]. Составляющим умного дома необходимо автоматизировано выполнять свои функции без участия человека. Так, например в случае перенапряжения в сети, включить резервное питания для функционирования всех систем, возможность включить заданный протокол работы интеллектуальных систем, когда все уезжают из дома [4]. Рассмотрим общую схему системы «Smart House».



Базовая схема автоматизированного умного дома

Почему система «Smart House» набирает популярность на территории нашей страны? В первую очередь ввиду упрощения эксплуатации цифровой и бытовой техники, автоматический контроль коммуникационных и охранных систем. Энергоэффективное использование электричества и бесперебойная работа инженерных систем с возможностью устранения неполадок. Как и в любой комплексной системе, у нее есть недостатки, которые предстоит усовершенствовать и развивать, а именно - высокая стоимость оборудования и затраты на монтажные работы, стоит учитывать и окупаемость системы и ее функций, которые могут стать не актуальными в ближайшие пять лет. Стоит также учесть проблемное подключение модулей различных компаний в единую систему, в случае поломки центрального органа управления, могут пострадать комплектующие без возможности восстановления [5].

В заключении, мы можем с уверенностью сказать, что передовые интеллектуальные и цифровые решения совершенствуют как производственные процессы в крупных масштабах, так и бытовые процессы, среди таких решений, система «Умный дом» является важной частью жизни человека будущего, способная обеспечить безопасность и автономный контроль работы жилого помещения в самых разнообразных условиях.

### **Источники**

1. Технология «Умный дом»: что это? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://giox.ru/blogs/smart-home-explained> (дата обращения 10.03.22)
2. Герасимова А.И. Проектирование системы «Умный Дом» // Проблемы Науки. 2015. №2 (32). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-sistemy-umnyy-dom> (дата обращения 09.03.2022).
3. Из чего собрать умный дом в 2020 году: от хаба и до лампочки [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/mvideo/blog/499706/>. (дата обращения 09.03.22)
4. Мухаметова Л.Р., Ахметова И.Г., Ахметов Т.Р. Оценка эффективности реализации программ энергосбережения. Проблемы энергосбережения в теплоснабжении // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2015. №9-10. С. 12-21.
5. Вольвач А.В., Поддубная Н.С. Уязвимости системы «Умный дом» // Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2021. №1 (52). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/uyazvimosti-sistemy-umnyy-dom> (дата обращения 09.03.22).

## ПРЕИМУЩЕСТВА ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН НА ПРОИЗВОДСТВЕ

А.Х. Баймурзин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
albertkhamitovich@gmail.com  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. М.А. Сафин

В статье рассматривается влияние цифровизации на деятельность компаний, а также анализ технологии блокчейн, DLT (Distributed Ledger Technology, или DLT), используемой в промышленности, ее влияние на экономику. Рассмотрены способы применения технологии блокчейн в нефтегазовой отрасли, энергетике и автомобильной промышленности, преимущества и возможности дальнейшего развития данной технологии, с целью получения качественной продукции и высокой прибыли.

**Ключевые слова:** блокчейн-технологии, DLT, экономика, промышленность, прибыль.

По состоянию на сегодняшний день, блокчейн-технология является самым безопасным способом распределения, хранения записи транзакций в распределении их по узлам мировой сети, таким образом, данные, размещенные в цифровом реестре, практически невозможно взломать и фальсифицировать, ввиду данных характеристик, блокчейн является самым эффективным и безотказным способом содержания транзакций и служебной информации. В 2022 г. блокчейн может стать основным инструментом хранения и передачи данных в крупных корпорациях и государствах [1]. Крупный крипто сервис Blockdata в конце 2021 г. подвел итоги внедрения компания DLT решений, и выяснил что 80 крупных компаний из 100 уже используют технологию блокчейн, как на ранних этапах тестирования, так и активно внедряют в сервисы компании, работающие с сотрудниками, клиентами и партнерами. Использование DLT системы в промышленности обусловлено сложностью всего процесса производства в целом, большое количество механизмов, товаров, элементов и тонкостей, их изменение и перемещение становится все сложнее отследить традиционными способами. Используя децентрализованную и распределенную технологию, появится возможность внедрить интерактивные системы и приложения для оптимизации, мониторинга изделий между продавцами и покупателями. Это гарантирует качество и высокий уровень прозрачности и контроля производства. Предлагаю рассмотреть различные отрасли производства и их опыт применения технологии блокчейн [2].

Рассматривая энергетический сектор, мы можем увидеть сложную многоуровневую систему отношений между производителем, потребителем и поставщиком электричества. Энергетике не хватает единой платформы, где стороны могут взаимодействовать напрямую, получать и оплачивать энергию. Внедрив систему DLT, появится возможность упрощенного расчета потребления электроэнергии между поставщиком и потребителем. Если мы посмотрим в сторону стран Западной Европы, активно использующие ветровые станции, солнечные батареи, которые формируют микросети, то можно использовать их как дополняющие сети основной, благодаря генерации, передачи и сохранению электроэнергии по установленным правилам [3].

Проблема сложного документооборота и передачи информации также являлась головной болью крупных компаний нефтегазового сектора до появления DLT сервиса. Начиная с процесса добычи до конечного потребителя нефть и газ взаимодействуют с десятками партнеров, контрагентами и проходят юридические процессы на многих этапах. Чтобы решить данную проблему, с помощью DLT системы мы создаем единую цифровую сеть, которая фиксирует и автоматизирует бизнес-процессы, а также контроль за производством, а также распределенная сеть обеспечивает целостность и быструю обработку данных. Так, в 2019 г. IBM и ADNOC - Abu Dhabi National Oil Company запустили блокчейн-сервис для учета операций и управления ими в торговле продуктами [4].

Стоит отметить и высокое применение DLT технологий в автомобильной промышленности. Как было отмечено выше, использование блокчейн повысить надежность, качество передачи данных, а использование цифровой сети позволит заниматься документооборот непосредственно в единой системе, обеспечивая защищенность производителя и клиента. Помимо этого, синергия телематики и IoT технологий, позволит связывать миллионы автомобилей с помощью навигационной системы и интеллектуальных датчиков, тем самым предупреждать водителей об изменении дорожных условий, погоды, ремонтных работах, авариях и др. Еще один интересный способ применения блокчейна, это использование криптовалюты, как способ покупки новых автомобилей у автопроизводителя, так в июле 2021 г., компания Tesla объявила о возможности покупки авто с помощью биткойна, это позволит инвестировать денежные средства в криптовалюту с целью повышения капитализации и инвестиций компании [5].

Резюмируя все вышесказанное, мы можем прийти к выводу, что технология блокчейн DLT способствует кардинальному преобразованию процессов производства, обработки данных. Распределенный реестр обеспечивает безопасность служебной информации, укрепляет доверительные отношения между партнерами, сокращает затраты на оплату компаниям посредникам. По расчетам аудиторской компании PricewaterhouseCoopers (PwC), внедрение технологии за ближайшие 5 лет принесет мировой экономике \$1,76 трлн и создаст более 40 млн рабочих мест к 2030 г. В настоящее время крупные Российские компании такие как, Газпром, Сбербанк, Норникель, S7 Airlines, используют данные технологии и развивают их в более узких направлениях.

### **Источники**

1. Дон Тапскотт, Алекс Тапскотт. Технология блокчейн - то, что движет финансовой революцией сегодня. М.: Эксмо, 2017. 448 с.

2. Дроговоз П.А., Кошкин М.В. Анализ инновационных технологий в промышленности: блокчейн, интернет вещей // Вестник ГУУ. 2019. №3. С. 38-43.

3. Пол Винья, Майкл Кейси. Эпоха криптовалют. Как биткоин и блокчейн меняют мировой экономический порядок. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2018. 432 с.

4. Клаус Шваб, Николас Дэвис. Технологии четвертой промышленной революции. М.: Эксмо, Бомбора, 2018. 320 с.

5. Сафин А.Р., Ившин И.В., Цветков А.Н., Петров Т.И., Басенко В.Р., Манахов В.А. Развитие технологии мобильных зарядных станций для электромобилей // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. 23(5). С. 100-114.

## РАЗРАБОТКА МНЕМОСХЕМЫ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ

Т.Р. Баторшин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
timur.batorshin.02@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. В.А. Данилов

В статье представлен прототип пользовательского интерфейса для дистанционного управления роботизированной мобильной платформой. Выполнен анализ и подготовлены рекомендации для построения человеко-машинного интерфейса.

**Ключевые слова:** человеко-машинный интерфейс, мнемосхема, SCADA-система, мобильный робот.

В современных автоматизированных системах управления (АСУ) предусматривается участие человека. Одна из ролей участия человека в функционировании действующей АСУ – оператор-технолог. Для эффективной работы оператора-технолога очень важными являются удобство и функциональность человеко-машинного интерфейса (ЧМИ), через который происходит контроль и управление процессом [1]. ЧМИ АСУ обеспечивает взаимодействие человека и автоматизированной системы. Реализуется чаще в формате мнемосхем.

Реализация ЧМИ очень важна, поскольку от содержания и представления мнемосхем часто зависит скорость реакции оператора на возникшую ошибку или нарушения нормального режима работы. Мнемосхемы в АСУ применяются улучшения восприятия оператором схем автоматизированного процесса и удобства управления. Мнемосхема представляет собой графическое изображение контролируемого процесса с индикаторами и элементами управления. В большинстве случаев мнемосхемы создаются на основе технических схем процесса.

С целью повышения эффективности был разработан список рекомендаций для создания мнемосхем:

1) прежде чем приступить к разработке, необходимо обдумать жизненный цикл процесса – предусмотреть удобство обучения нового сотрудника работе с создаваемым ЧМИ, возможность внесения изменений и т.п.;

2) необходимо обеспечить быстроту обнаружения оператором ошибки или отклонения от нормального состояния – предусмотреть выделение элемента, в котором произошла ошибка или отклонение особым цветом совместно с общим спокойным фоном;

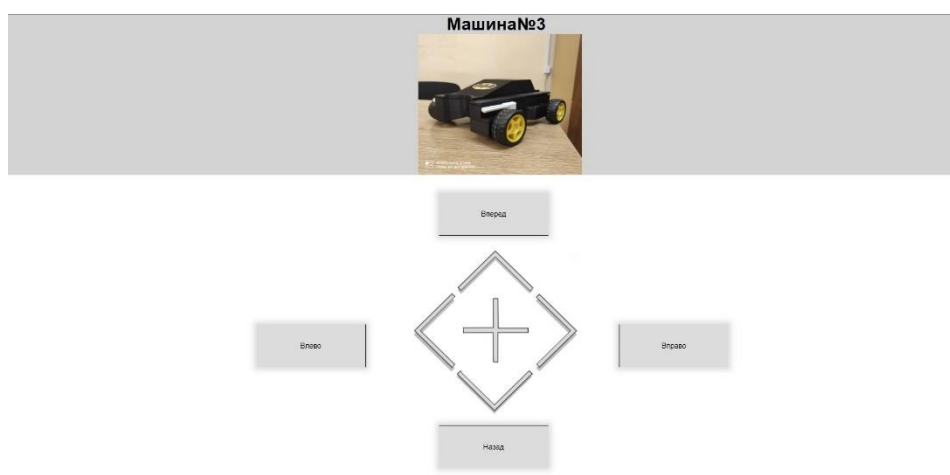
3) необходимо учесть зрительную физиологию человека – интерфейс должен не вызывать дополнительную усталость или перенапряжение для глаз оператора в течении смены;

4) необходимо оптимизировать содержание мнемосхем, сократив ненужную информацию.

Разработка человеко-машинного интерфейса является важным элементом для учебных и инновационных проектов, реализуемых на базе Молодежного инновационного центра «Энергия» [3–5]. Составленные рекомендации по созданию мнемосхем будут полезны разработчикам подобных проектов.

Для разработки мнемосхем в АСУ обычно применяются встроенные инструменты SCADA-систем. SCADA-система – это программно-аппаратный комплекс сбора данных и диспетчерского контроля [2]. Но в некоторых случаях мнемосхемы могут быть разработаны с помощью иных инструментов.

В рамках проекта по созданию системы дистанционного управления роботизированной мобильной платформы мною разрабатывается мнемосхема в формате пользовательского интерфейса (см. рисунок).



Прототип интерфейса управления

Данная мнемосхема содержит:

- блок вывода видеоизображения с внешней веб-камеры (в дальнейшем планируется добавить видео с камеры, установленной на корпусе мобильной платформы);
- блок с элементами ручного управления.

В апреле-мае планируется провести тестирование разработанного интерфейса в рамках матчей по Онлайн-робофутболу, в которых участники будут управлять самодельными машинками через данный ЧМИ. По результатам тестирования и выявленным недостаткам мнемосхема будет улучшаться.

В дальнейшем планируется добавить кнопки выбора автоматического/ручного режима управления и другие необходимые элементы в зависимости от реализуемых функций и назначения роботизированной мобильной платформы.

В данной работе на основе изучения теоретического материала были составлены рекомендации по созданию мнемосхем, был разработан прототип пользовательского интерфейса (мнемосхемы). В ходе тестирования и усовершенствования разработанного пользовательского интерфейса составленные рекомендации по разработке мнемосхемы планируется дополнить и скорректировать.

### **Источники**

1. Сурова А.Е., Ковалева А.Г. Проектирование человеко-машинных интерфейсов // Язык в сфере профессиональной коммуникации: сб. матер. межд. науч.-практ. конф. преподавателей, аспирантов и студентов. Екатеринбург, 2019. С. 564-570.
2. Епифанцев К.В., Мишура Т.П. Возможности SCADA системы для измерения параметров трубопровода // Научное исследование как основа инновационного развития общества: сб. статей по итогам Межд. науч.-практ. конф. Челябинск, 2019. С. 126-128.
3. Bogdanov A., Gilfanov K., Latypov T. Digitalization and robotization in the automation of energy facilities // E3S Web of Conferences: International Symposium «Sustainable Energy and Power Engineering 2021», SUSE 2021. P. 01039. DOI 10.1051/e3sconf/202128801039.
4. Рябых И.А., Богданов А.Н., Каюмова А.Р., Абдрахманов А.М. Обучение автоматизации процессов в энергетике с помощью робототехники // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: Матер. II Всерос. науч.-практ. конф. В 2-х т. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. С. 91-96.
5. Абдрахманов А.М., Шайдуллин Д.В. Информационное роботизированное устройство // Тинчуринские чтения - 2020 «Энергетика и цифровая трансформация»: Матер. Межд. молод. науч. конф. В 3-х т. Т. 2. С. 280-282.



## РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА АСУ ЛОГИСТИЧЕСКИМ ПУНКТОМ СТАНОЧНОГО ЦЕХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ

Ю.А. Блинова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

blinovaya17@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Н. Богданов

В статье представлен результат аналитического исследования существующих роботизированных решений для автоматизации склада. Выполнен выбор функциональной концепции роботизированной мобильной платформы оптимальной для АСУ логистического пункта небольшого мелкосерийного производства.

**Ключевые слова:** автоматизация, роботизация, склад, процесс, мобильная платформа, AGV робот.

Неотъемлемой частью любого развивающегося предприятия является склад. Работа склада непосредственно влияет на эффективность деятельности предприятия. В связи с этим идёт активное развитие в области автоматизации и роботизации складов [1–3]. Например, автоматизируется погрузка продукции на поддоны, транспортировка товаров между отделами, упаковка и распаковка, проверка качества и другие операции. Для автоматизации таких операций обычно задействуют специальное роботизированное оборудование: мобильные платформы для транспортировки, роботы погрузчики и сортировщики, конвейеры, упаковочные машины, автоматические штабелеры [4]. Внедрение роботизированной техники в работу склада обеспечивает наиболее эффективное использование рабочего персонала и технического оборудования. Компании, уже использующие складскую робототехнику, оценили преимущества автоматизации складских процессов во время вспышки коронавируса, когда основной задачей стало минимизировать участие человека [5].

С целью создания автоматизированной системы управления логистическим пунктом станочного цеха было решено разработать прототип транспортировочного робота. Подходящие для этого мобильные роботизированные платформы бывают двух типов: автоматически управляемые транспортные средства (AGV – Automated Guided Vehicles) и автономные мобильные роботы (AMR – Automated Mobile Robots).

AGV – это роботизированные транспортные средства, которые предназначены для перевозки товара на складе или каком-то предприятии (см. рисунок). Обычно управление осуществляется за счёт магнитов, цветных лент, штрих-кодов и кабелей. Для таких роботов предварительно задают настройки для работы, чтобы они следовали по определённому маршруту, и останавливались, когда на их пути возникает препятствие [6].



AGV-робот

AMR – появились после AGV, представляют собой транспортные средства, которые используют определённые датчики, процессоры и особую навигацию для перемещения объекту или складу без всякой необходимости каких-либо направляющих. Эти роботы умеют считывать обстановку вокруг и планировать свой маршрут, обращаясь к встроенной карте [7].

Логистический пункт выбранного станочного цеха представляет собой небольшой объект с отсутствием достаточного финансирования для внедрения роботизированного решения формата AMR. Поэтому было решено выбрать формат AGV – относительно простой, менее затратный, но достаточный для решения имеющихся логистических задач автоматизируемого объекта.

В результате анализа объекта автоматизации была определена приоритетная задача, которую должна выполнять разрабатываемая роботизированная платформа, и составлены основные маршруты транспортировки. В ходе обследования логистического пункта было определено, что перенос изделий между заданными точками осуществляют те же люди, что и обслуживают станки. В результате внедрения разрабатываемой роботизированной мобильной платформы планируется добиться до 10 % экономии рабочего времени. Это положительно скажется на экономической эффективности объекта благодаря относительной дешевизне и простоте разрабатываемого решения.

Управление роботизированной мобильной платформой будет осуществляться с помощью мини ПК Raspberry NUC Pi 3 Model B+, передвижение – с помощью электродвигателей. Ориентироваться платформа будет с помощью ультразвуковых датчиков расстояния и технического зрения. Для того, чтобы определить разметку и сигнализирующие знаки используется библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения – OpenCV. В логистическом центре будет нанесена разметка, определяющая варианты траектории движения роботизированной мобильной транспортной платформы.

На сегодняшний день уже есть использующиеся аналоги, в том числе и на российском рынке. Например, от таких компаний как «3D-Технологии», «ОМП», «MiR». Однако, разрабатываемое решение, благодаря узкой специфике решаемых задач и определенному минимально необходимому функционалу, будет дешевле.

### **Источники**

1. Зачем нужно автоматизировать склад [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.instocktech.ru/video-stati/stati-ot-specialistov/avtomatizaciya-sklada/> (дата обращения 03.03.2022).

2. Чурбакова Е.А., Жукова Э.Г. Использование робототехники в ведении складского хозяйства // OPEN INNOVATION: 5-я межд. науч.-практ. конф. Пенза, 2018. С. 133-135.

3. Ведерников М.Ю. Робот-погрузчик. Разработка и моделирование движения на территории склада // Молодежная Наука Сибирского Региона. Труды XXIII Межвуз. науч.-практ. студ. конф. в 2-х т. 2019. С. 47-52.

4. Автоматизация склада как метод оптимизации бизнес-процессов, 14.06.2018 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ekam.ru/blogs/pos/avtomatizatsiya-sklada> (дата обращения 03.03.2022).

5. Роботы на складах: 5 примеров автоматизации, 16.04.2021 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://wareteka.com.ua/blog/roboty-na-skladah-primery-avtomatizacii/> (дата обращения 03.03.2022).

6. AGV робот, 5.10.2020 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nissa-eng.ru/baza/agv-avtomaticheskii-upravljajemoe-transportnoe-sredstvo/> (дата обращения 04.03.2022).

7. AMR против AGV – 7 ключевых отличий, о которых должны знать предприниматели, 19.02.2020 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nissa-eng.ru/stati/amr-protiv-agv-7-kljuchevyh-otlichij-o-kotoryh-dolzny-znat-predprinimateli> (дата обращения 04.03.2022).

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК ПРОИЗВОДСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В.Ю. Горбов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

valera322gg@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Н.В. Богданова

В статье рассмотрен метод усовершенствования автоматизированной установки вентиляции производственного назначения. Актуальность данного решения заключается в необходимости повышения эффективности использования теплоносителей и электричества в современных реалиях.

**Ключевые слова:** вентиляция, приточная система, вода, помещение, рекуператор.

Объект автоматизации представляет из себя производство.

Здание административно-складского комплекса состоит из 3 различных отделов, включает: складскую зону, административно-бытовой комплекс (АБК) и инженерно-бытовую зону.

Рассмотрим функциональную схему приточной вентиляции, используемую на данном объекте, на рис. 1.

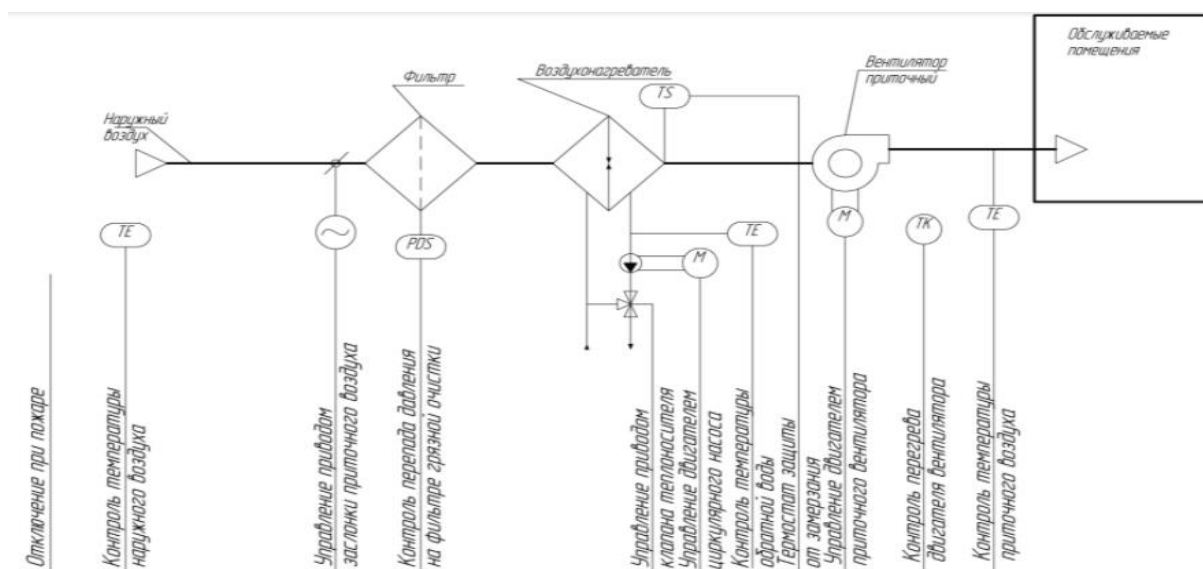


Рис. 1. Функциональная схема приточной вентиляции

Система обеспечивает: контроль температуры воздуха в подающем канале, защиту нагревателя от замерзания благодаря постоянному мониторингу температуры обратного теплоносителя и воздуха за нагревателем при отключении системы для поддержания определенной температуры обратной воды, контроль степени засорения фильтров на основе перепада давления в фильтрах, отключение системы в случае пожара и аварии, индикация аварийного и рабочего режима, автоматическое и ручное управление системой [5].

Недостатком системы является более высокая стоимость охлаждающей жидкости и источника питания [3]. Их можно уменьшить, установив рекуператор. Рекуператор – это устройство, которое использует отработанный воздух для нагрева наружного воздуха, подаваемого в помещение [2].

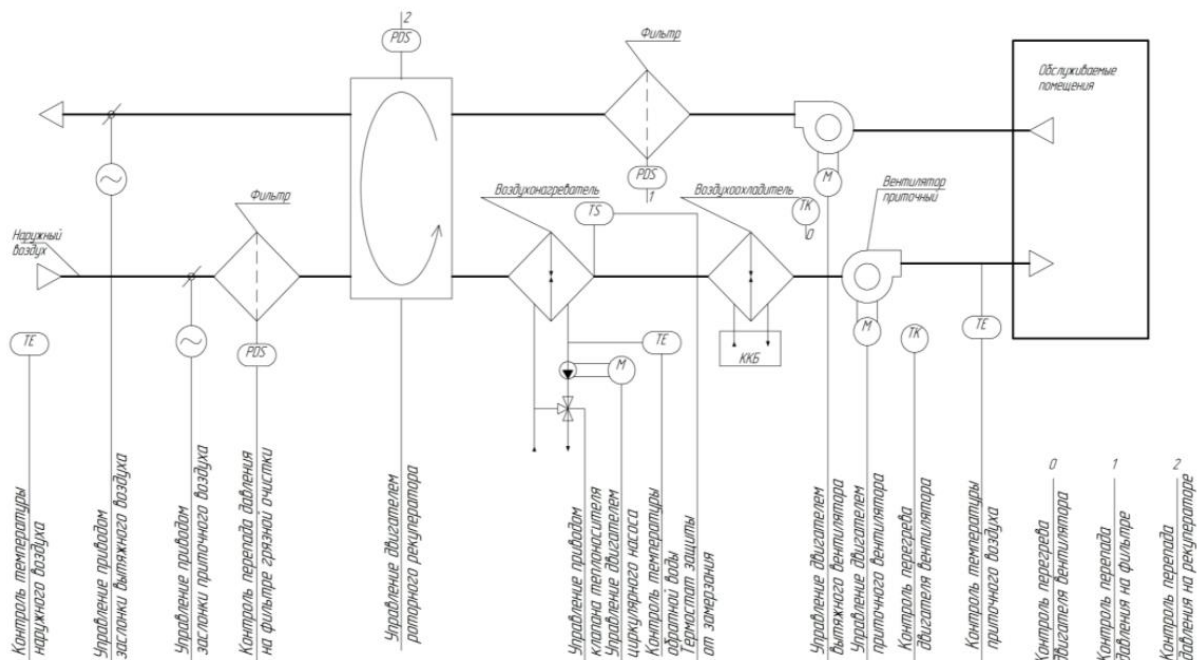


Рис. 2. Функциональная система вентиляции с роторным рекуператором

Установка роторного рекуператора позволяет уменьшить затраты теплоносителя в 20 раз, а, следовательно, увеличить энергоэффективность установки [1]. Роторный рекуператор необходим в данной системе для увеличения КПД установки по средствам защиты от замерзания при помощи вращения пластины [4]. Недостатком данного решения являются затраты электроэнергии на вращение роторного рекуператора.

Таким образом, установка рекуператора является методом усовершенствования автоматизированной установки вентиляции производственного назначения.

## Источники

1. Галкина Н.И. КПД систем вентиляции // Инженерный вестник Дона. 2017. №2.
2. Мельников В.Д., Нестеренко Г.Б., Лебедев Д.Е., Мокроусова Ю.В., Удовиченко А. В., Проблемы, перспективы применения и методика расчета нормированной стоимости накопления электрической энергии // Вестник КГЭУ. 2019. Т.11 №4(44). С. 30-36.
3. Немова Д.В., Системы вентиляции в жилых зданиях как средство повышения энергоэффективности // Интернет-журнал «Строительство уникальных зданий и сооружений». 2012. №3.
4. Ситников Н.Р. Оптимизация систем вентиляции различными способами // Научный электронный журнал «Оригинальные исследования». 2020. С. 10-19.
5. Системы вентиляции: виды, устройство, назначение [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tion.ru/ventilyaciya/> (дата обращения 09.03.22).

УДК 681.518.3

## РАЗРАБОТКА АСУ ПЕЧИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА НЕФТИ

Э.М. Давлетхузина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

davennlie@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.М. Сафаров

В данной статье рассматриваются ключевые моменты, необходимые для разработки автоматизированной системы управления печи предварительного подогрева нефти. Разобрана актуальность данной разработки и ее цели и функции, которые чаще всего необходимы. Также, рассмотрены основные моменты для выбора оборудования, которое необходимо для проведения всех замеров, передаваемых оператору.

**Ключевые слова:** автоматизация, нефтяная промышленность, АСУ, подогрев, нефтепродукты.

Сегодня автоматизация является одной из важнейших частей жизни и развития любого предприятия. Развитие современных технологий дало нам возможность использовать технические средства, способные регулировать системы управления так, чтобы свести человеческие ошибки, присущие энергетике, газовой и нефтяной промышленности, а также снизить трудоемкость и время всех операций. Автоматизация в данном случае – это установка различных мер, таких как датчики, механизмы и драйверы, способные имитировать поведение человека. Это необходимо для повышения производительности предприятия, а также для улучшения условий труда сотрудников, таких как безопасность и окружающая среда.

Нефтяная промышленность России является одной из основных и постоянно нуждается в совершенствовании своих технологических процессов, что связано с постоянным усовершенствованием объектов. Здесь важнейшим процессом является нагрев нефтепродуктов, так как он отвечает за их транспорт и операции по сливу и наливу высоковязких продуктов. Нагрев необходим для повышения текучести и снижения вязкости продуктов, сам процесс происходит в трубчатых печах при температуре от 40 до 90 °С. Это ускоряет процесс разрушения и разделения масляных эмульсий. Наиболее распространен способ нагрева в трубчатых блочных печах, которые могут иметь различные характеристики, такие как: номинальная тепловая мощность, номинальная мощность продукта, температура продукта на входе и выходе, рабочее давление, расход топлива, КПД, габаритные размеры и масса и т.д. зависит от типа оборудования.

Автоматизация печи осуществляется путем установки системы управления (АСУ) печью подогрева нефти. Целями данной системы являются повышение производительности оборудования, снижение затрат ресурсов, повышение безопасности использования оборудования, а также сокращение обслуживающего персонала. Перед разработкой системы необходимо понять, какие функции она должна выполнять. В наиболее распространенных случаях выделяют следующий функционал [1]:

- регулировка технологического процесса;
- защита оборудования;
- контроль и регистрация значений основных параметров удаленно;
- контроль необходимого давления на входе и выходе;
- контроль температуры и подача инертного газа.

Все данные, необходимые для операторов передаются на АРМ.

При разработке необходимо учитывать, что все используемые устройства должны выдерживать температуры и влажность, необходимые для правильной работы. Кроме того, должна быть возможность дальнейшей модернизации АСУ. При подборе датчиков и аппаратуры одними из основных характеристик является их взрывобезопасность, искробезопасность, а также материал должен быть коррозиестойким, так использоваться все будет в агрессивных средах.

Программное обеспечение для любой автоматизированной системы является одной из самых сложных частей разработки, так как необходимо подобрать наиболее подходящее из всех существующих, а также учесть возможные будущие модернизации, чтобы уменьшить затраты и исключить полную замену оборудования. Программное обеспечение (ПО) автоматизированной системы состоит из следующих элементов [2]:

- системное программное обеспечение (операционные системы);
- инструментальное программное обеспечение;
- базовое прикладное программное обеспечение, обеспечивающее стандартные функции (измерения, визуализация, сигнализация и т. д.);
- специальное прикладное программное обеспечение, средства которого состоят из языков программирования (технологических и универсальных), средств разработки (компиляторы и отладчики), а также выполняют нестандартные функции (специальные алгоритмы управления, расчеты и т. д.).

Профиль среды, распределенной автоматизированной системы должен включать стандарты протоколов транспортного уровня (в соответствии с ISO OSI или стандарту де-факто протокола TCP/IP), стандарты локальных сетей (например, стандарт Ethernet IEEE 802.3 или стандарт Fast Ethernet IEEE 802.3u), а также разработанные АС стандарты интерфейса с сетями передачи данных общего назначения (в частности, RS-485, сети CAN, ProfiBus и др.) [3].

В результате выбора всех необходимых инструментов и их установки, производится тестирование всего оборудования на его работоспособность. Далее необходимо рассчитать ее эффективность.

Таким образом, разработка АСУ печи предварительного подогрева нефти имеет множество критериев, которые необходимо учитывать для ее качественной работы и функционирования, начиная от устройств, заканчивая программным обеспечением. Учет всех необходимых характеристик поможет эффективно повысить производительность оборудования и качество работы сотрудников.



## Источники

1. Силаев А.А. Разработка автоматизированной системы управления подогревателем нефти ПТБ-10Э / А.А. Силаев, А.В. Семенов // Технические науки: проблемы и перспективы: матер. VI Межд. науч. конф. СПб.: Свое издательство, 2018. С. 32-35.

2. Андреев Е.Б., Попадько В.Е. Технические средства систем управления технологическими процессами в нефтяной и газовой промышленности: учеб. пособие. М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им И.М. Губкина, 2005. 270 с.

3. Кравцов А.С., Седельникова В.А., Чижов К.А., Князева А.Э., Волков И.В. Автоматизация технологических процессов в нефтегазовом производстве // Московский экономический журнал. 2021. №9. С. 705-711.

УДК 621.928

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТОЧНОЙ МОДЕЛИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КЛАССИФИКАТОРА

М.Р. Зайнетдинов<sup>1</sup>, Н.Ф. Сахибгареев<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>zaynetdinov.2000@mail.ru, <sup>2</sup>fanat.elvisa@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.М. Сафаров

В работе рассмотрена проблема повышения разделения сыпучего материала на определенные фракции, т.е. диапазоны частиц. Предложена модель классификатора. Представлена сеточная модель, которая состоит из 1 млн гексаэдральных элементов. Получено, что при увеличении входной скорости газового потока время выхода расчета на квазистационарное течение безразмерных окружных скоростей в области вихрей уменьшается. Однако для большей части линий необходимо 0,1 с.

**Ключевые слова:** численное моделирование, центробежный классификатор, поле скоростей, сеточная модель, Ansys Fluent.

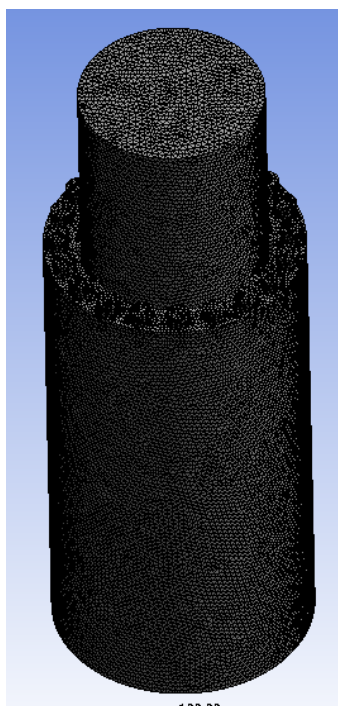
Важной задачей в химической, нефтехимической и других отраслях промышленности является получение мелкого сыпучего порошка на основе силикагеля, который применяется в качестве катализатора [1]. Особой сложностью является получение порошка определенной дисперсности, т.е. размер частиц должен варьироваться в определенном интервале [2]. Для разделения порошка предлагается использовать центробежный классификатор [3–5]. Целью данной работы является исследование распределения скоростей внутри аппарата с помощью решения дифференциальных уравнений, которые заложены в программный продукт Ansys Fluent.

В ходе расчетов изменялась входная скорость газового потока  $W$  от 1 до 8 м/с. При этом постоянным значением задавалась плотность, которая составляла  $1,205 \text{ кг/м}^3$ , динамическая вязкость газа –  $15,1 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$ . При численном моделировании использовался нестационарный решатель. Рассматривались поля скоростей в моменты времени расчета – 0,01, 0,05 и 0,1 с. На выходе из аппарата задавалось атмосферное давление.

Сеточная модель включала около 1 млн гексаэдральных элементов (см. рисунок). Трехмерная модель была построена в SpaceClaim. Далее сетка создавалась в «Mesh».

Результаты численных нестационарных расчетов показали, что время выхода решений на квазистационарное течение зависит в большей степени от входной скорости движения газового потока в классификатор – при увеличении скорости время выхода уменьшается, так как от нее непосредственно зависит значение скорости в прямоугольных щелях, которые проделаны во внутренней трубе аппарата, соответственно, она определяет частоту вращения вихрей.

Следует отметить, что при построении зависимостей значения осевых и окружных скоростей были приведены к безразмерному виду путем их отношения к скорости в прямоугольной щели.



Сеточная модель центробежного классификатора, выполненная в программном модуле Ansys Fluent

При численном моделировании задавалось 1500 итераций. При этом использовалась модель турбулентности  $k-w$  SST. Критерии сходимости устанавливались с точностью  $1e-16$ .

В ходе расчетов было отмечено, что данный параметр характеризует устойчивость вихрей при их движении в межтрубном пространстве. При более высоких значениях частоты вращения, иными словами, входной скорости газа, вероятность отклонения вихрей от начальной оси вращения уменьшается, также, вероятно, прецессия и нутация вихревой структуры становится менее выраженной, что в совокупности уменьшает время выхода расчета безразмерных осевых и окружных скоростей на квазистационарное течение.

В докладе показано, что при увеличении входной скорости газового потока время выхода расчета на квазистационарное течение безразмерных окружных скоростей в области вихрей уменьшается. Однако, для большей части линий необходимо 0,1 с.

В докладе показано уравнение, показывающее связь между гидравлическим сопротивлением аппарата и входной скоростью газовой среды.

Предлагаемое конструктивное оформление аппарата позволяет создать структурированный поток с множеством вихрей в межтрубном пространстве и наличием областей с отрицательными или около нулевыми скоростями – транспортными каналами.

### **Источники**

1. Численное моделирование газодинамики в центробежном классификаторе / В.Э. Зинуров, А.В. Дмитриев, Н.Ф. Сахибгареев, Д.Н. Латыпов, М.Г. Гарипов // Вестник технологического университета. 2021. Т. 24. № 12. С. 128-132.

2. 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.

3. Патент на полезную модель № 201604 U1 Российская Федерация, МПК В01D 45/04, В04С 5/103. Пылеуловитель-классификатор с соосно расположенными трубами: № 2020128520: заявл. 26.08.2020: опубл. 23.12.2020 / А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева, И. Н. Мадышев [и др.].

4. Classification of bulk material from the gas flow in a device with coaxially arranged pipes / V. E. Zinurov, A. V. Dmitriev, M. A. Ruzanova, O. S. Dmitrieva // MATEC Web of Conferences. 2020. V. 193. P. 01056.

5. Effect of Design Parameters of Classifier with Coaxial Pipes on Efficiency of Fractionation of Finely Divided Bulk Material / V. E. Zinurov, A. V. Dmitriev, I. N. Madyshev, O. S. Dmitrieva // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 57. No 7-8. P. 531-537.

УДК 629.5.048

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА**

Д.А. Зеленов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

dimariff@mail.ru

Науч. рук. ст. преп. А.С. Марченко

В статье рассмотрены аспекты современных систем автоматического управления технологическими процессами, отдельное внимание уделено вопросу автоматизации систем вентиляции и кондиционирования, ее актуальности и особенностей. Представлен состав и назначение элементов типовой системы вентиляции и кондиционирования. Описаны особенности работы таких систем и требования к ним, обоснованные технологией производства на объекте, санитарными нормами и требованиями пожарной безопасности.

**Ключевые слова:** автоматизированная система управления, приточно-вытяжная вентиляция, кондиционирование, микроклимат, пожарная безопасность.

На современном этапе развития все большую актуальность приобретают различные системы автоматического управления технологическими процессами. Такие системы подразумевают интеграцию средств и методов позволяющих реализовать управление и мониторинг того или иного технологического процесса без непосредственного участия рабочего персонала.

Особое внимание уделяется системам автоматизации промышленных систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Острая потребность в автоматизации таких систем связана с тем, что тот или иной технологический процесс требует обеспечения определенных условий микроклимата в рабочей зоне, при этом создание и поддержание параметров воздуха в помещении является важной составляющей технологического процесса, нарушение которого недопустимо [1].

Наиболее распространенным объектом автоматизации является приточно-вытяжная система вентиляция. Для организации автоматического управления таких систем используют трехуровневую структуру.

Первый уровень представлен системой связанных между собой датчиков и исполнительных устройств, которые непосредственно осуществляют алгоритмы автоматического управления в рамках рассматриваемой системы.

Второй уровень состоит из приборов управления и шкафов автоматики.

Третий уровень представляет собой систему диспетчеризации работы всей системы, главной задачей которой является контроль работы, генерирование реакции системы на изменения ее состояния, в том числе на сбои, возникающие в процессе эксплуатации [2].

Применение специализированных аппаратных решений и программных средств позволяет осуществлять качественный сбор и анализ доступной информации об актуальном состоянии систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Возможна так же и реализация функции записи данных, которая позволяет проанализировать параметры системы предшествующие аварии или отказу и избежать их в дальнейшем.

Рассмотрим систему вентиляции и кондиционирования и узлы ее автоматизации. На входе наружного воздуха в приточную установку устанавливаются система жалюзи с сервоприводом, позволяющей контролировать просвет приточного тракта, после жалюзи устанавливаются фильтры и пара датчиков разности давления до и после фильтра, призванные сигнализировать о степени его загрязнения [3].

Далее по тракту устанавливается датчик температуры приточного воздуха, далее располагается узел подогрева воздуха. Узел подогрева может быть выполнен в виде электрического ТЭНа или водяного калорифера, подключенного к системе отопления через тепловой узел, в состав которого входит циркуляционный насос, датчики температуры и давления воды (приточной, обратной, перед и после калорифера), трехходовой клапан с электрическим приводом, все эти элементы необходимы для варьирования параметров работы калорифера. В случае применения электрического нагревателя необходима установка датчиков температуры в непосредственной близости от нагревательного элемента и система контроля питающего напряжения [4].

Следующим по ходу канала элементом является система кондиционирования канального типа для охлаждения воздуха при необходимости, после которой устанавливаются системы переувлажнения воздуха и датчики влажности. Далее по ходу канала устанавливается приточный вентилятор, который подключен к системе с использованием частного преобразователя, далее подготовленный воздух поступает в рабочее помещение.

Удаляемый из помещения воздух поступает в обратный воздушный канал, где с помощью вытяжного вентилятора с частотным регулированием создается разрежение, и выбрасывается наружу.

Современные системы вентиляции кондиционирования воздуха так же включают в себя узел рекуперации, в котором часть тепловой энергии удаляемого из помещения воздуха передается приточному воздуху, данный узел устанавливается в крайней точке системы, другими словами, сразу после жалюзи приточного канала и непосредственно перед жалюзи вытяжного канала по ходу движения воздуха в системе. Данный узел требует дополнительных элементов автоматизации, однако позволяет обеспечить более экономичную работу системы [5].

Еще одним не маловажным элементом автоматизации систем вентиляции и кондиционирования является работа противопожарной системы в части противопожарных отсечных клапанов системы приточной вентиляции, которые в случае срабатывания пожарной тревоги должны полностью прекратить принудительную подачу воздуха в помещение во избежание интенсификации горения при пожаре.

Таким образом, система вентиляции и кондиционирования является сложным и многосоставным объектом автоматизации. Высокая требовательность к работе таких систем объясняется не только условиями технологии производства на том или ином предприятии, но и санитарными и пожарными нормами, по этой причине автоматическое управление систем вентиляции и кондиционирования воздуха столь востребованы и их актуальность растет вместе развитием техники и технологий производства промышленных предприятий.

### **Источники**

1. Слюта М.О., Бахтин А.В. Современные тенденции развития систем автоматического управления приточно-вытяжной вентиляции жилых объектов // Актуальные вопросы современной науки. 2019. С. 117-120.

2. Звенигородский И.И., Текутьев М.В. Адаптивное управление центральными системами кондиционирования воздуха специального фортификационного сооружения // Сб. статей II Всерос. науч.-техн. конф. Состояние и перспективы развития современной науки. Ч. 1. 2020. С. 262-271.

3. Звенигородский И.И., Текутьев М.В. Динамическая модель каскадной системы автоматического управления системой кондиционирования воздуха // Некоторые вопросы анализа, алгебры, геометрии и математического образования. 2020. №. 10. С. 75-76.

4. Алешичев С.Е., Шишкин Е.В. Алгоритм энергоэффективного управления системой кондиционирования воздуха специальных объектов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. №. 7. С. 134-141.

5. Пудиков В.В. Оценивание соответствия функционально-технических характеристик подсистем системы кондиционирования воздуха алгоритму управления // Проблемы обеспечения функционирования и развития наземной инфраструктуры комплексов систем вооружения. 2019. С. 222-226.

УДК 004.01

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ВНЕШНИМИ УСТРОЙСТВАМИ**

М.К. Зубрилов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
mz2000bs@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. В.А. Данилов

В статье описан прототип установки для программирования и автоматизации, осуществляющий управление внешними исполнительными устройствами и устройствами, считывающими состояние объекта (датчиками). Прототип установки собран, подготовлены рекомендации для дальнейшего развития проекта.

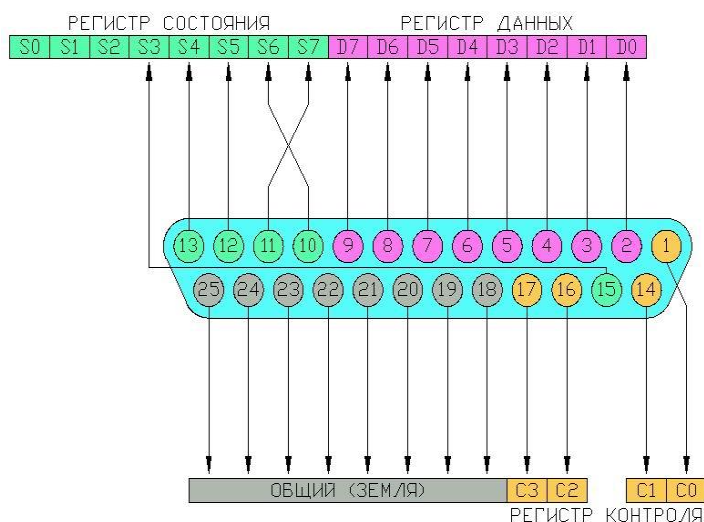
**Ключевые слова:** автоматизация, программирование, управление устройствами, параллельный интерфейс, обучение.

Установка была создана для изучения программирования, создания программ управления внешних устройств, так же она позволяет приобрести навыки проектирования управляющих устройств с использованием отечественной элементной базы электронных компонентов.

Система управления и автоматизации состоит из трех подсистем:

1. Система принятия решений – СПР.
2. Управляющее устройство (УУ).
3. Внешнее исполнительное устройство.

В данной установке СПР является компьютер с предустановленным языком программирования (Borland Turbo Pascal или аналогичный) и имеющимся портом LPT (см. рисунок) [1].



LPT порт

LPT (Line Print Terminal) – параллельный интерфейс (порт), обеспечивающий подключение периферийных аппаратов к персональному компьютеру. Данный порт считается устаревшим и практически не используется, однако выбранный интерфейс прост и понятен в обучении, так же позволяет управлять внешними исполнительными устройствами.

LPT порт имеет восемь выходов данных (Data), четыре входа/вывода управления (Control) и пять входов состояния (Status). Остальные выходы являются питанием (GND) [2]. Параллельный порт позволяет выводить одновременно восемь бит информации (логические «0» и «1»), четыре бита управления в данном прототипе они формируют адрес и пять битов состояния. Входы «Status» позволяют осуществить подключение к различным датчикам, имеющихся у внешнего устройства по одному датчику на каждый вход LPT порта.



Управляющее устройство собрано на советской элементной базе с использованием микросхем 155 серии. Для подключения внешних устройств, работающих от напряжения питания 220В, используются диодные ключи [3]. Они позволяют защитить порт от коротких замыканий и предотвратить выход его из строя. Для увеличения количества подключаемых датчиков нами была использована микросхема К155КП1 (шестнадцатиразрядный мультиплексор), которая позволяет использовать один вход «Status» LPT порта для подключения шестнадцати однобитовых датчиков [4]. Подключение датчика определяется адресом (Control), который состоит из четырех битов ( $2^4 = 16$ ). Поскольку входов состояния на LPT порту пять, то максимально можно подключить до 80 датчиков, используя пять мультиплексоров. Для работы микросхем и ключей подается питание (+5V, +12V и GND).

После того как протестировали работу компьютера с управляющим устройством, мы подключили внешний исполнитель, в нашем случае это водяной насос с двигателем переменного тока. Хотим отметить, что внешним исполнителем может быть практически любое устройство.

Данный прототип позволяет изучать программирование, осуществлять управление электронных систем, а также автоматизировать технологические процессы.

Дальнейшее развитие этого прототипа – работа управляющего устройства через последовательный порт и прошивка различных микроконтроллеров, в том числе и зарубежных, например, Atmega8.

### Источники

1. Дикой. Работа с портами СОМ и LPT на низком уровне [Электронный ресурс]. Режим доступа: [diko44.narod.ru/ports/PortPiloting.pdf](http://diko44.narod.ru/ports/PortPiloting.pdf) (дата обращения 12.03.22).

2. Огик П. Использование LPT-порта ПК для ввода/вывода информации // «НТ Пресс», 2006г. С. 8-13.

3. Управление устройствами на 220В через LPT порт (полный цикл создания) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/112511/> (дата обращения 12.03.22).

4. Справочники / Микросхемы / Серия 155 / К155КП1 шестнадцатиразрядный мультиплексор [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://asc-development.ru/spravochnik-long-65.html> (дата обращения 12.03.22).

## ПРИМЕНЕНИЕ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ В ПУНКТАХ ВРЕМЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ

А.Ю. Иванов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

www.sanya098@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Н.В. Богданова

Описана актуальность применения блочно-модульной котельной в пунктах временного размещения. Выделены основные параметры блочно-модульной котельной. Представлен состав разрабатываемого макета блочно-модульной установки.

**Ключевые слова:** блочно-модульная котельная, эвакуация, пункт временного размещения, автоматизация.

В последние годы в мире происходят множество стихийных бедствий, такие как цунами, землетрясения, извержения вулканов и другие. Человечество в ходе своего развития научилось прогнозировать масштабность возникновения чрезвычайной ситуации. Но проблему безопасности населения при разрушениях не удалось решить до сегодняшних дней.

Например, в прошлом году в летнее время таежные леса Сибири и Дальнего Востока охватили пожары площадью более 10 млн га.

Крупные лесные пожары могут привести к нижеперечисленным последствиям:

- гибель людей из населенных пунктов, расположенных вблизи леса, от поражающих факторов лесного пожара или отравление токсичными продуктами горения;
- полное или частичное сгорание жилого фонда и других построек населенных пунктов, расположенных вблизи леса;
- токсичное загрязнение воздуха на больших территориях.

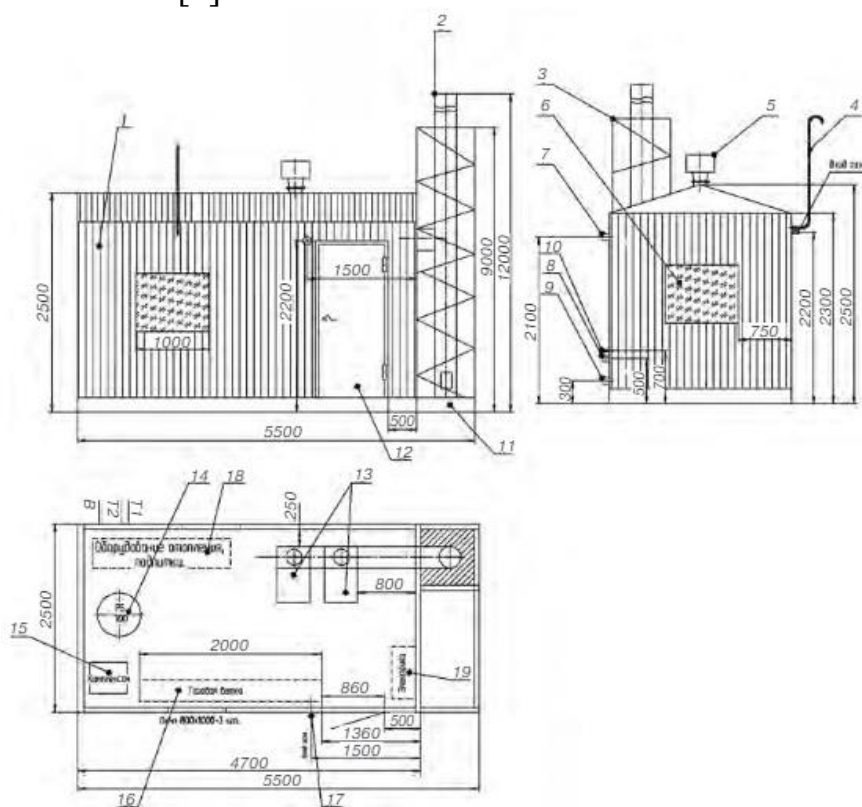
С целью обеспечения безопасности населения, проживающего вблизи массивов леса, осуществляется его эвакуация в пункты временного размещения [1].

Вне зависимости от расположения пункта временного размещения на его территории должно быть организовано жизнеобеспечение эвакуированного населения [2]. Для обеспечения теплоснабжения, а также горячего и холодного водоснабжения актуально оборудование пунктов временного размещения блочно-модульными котельными.

Блочно-модульная котельная (БМК) – это водогрейная котельная частичной или полной заводской готовности, состоящая из одного или нескольких модулей.

Это также передвижной комплекс, внутри которого находится технологическое оборудование. Помимо типовых устройств, помещение оснащается системами освещения, отопления, приточно-вытяжной вентиляции. Котельная такого типа может обслуживать отдельные здания, группу зданий, а также небольшой населенный пункт.

Блочно-модульные котельные различаются по мощности. Например, БМК малой мощности до 2,5 МВт выполнена как отдельный автономный модуль, в котором установлено все необходимое оборудование (см. рисунок). Интервал котельных средней мощности варьируется от 2,5 до 12 МВт, и они выполнены из нескольких отсеков. БМК мощностью от 12 МВт относятся к котельным большой мощности и собираются из укрупненных блоков [3].



Габаритный чертеж блочно-модульной котельной:

- 1 – блок-бокс модульного типа; 2 – дымовая труба; 3 – конструкция фермы дымовой трубы; 4 – сбросной газопровод; 5 – дефлектор; 6 – окно; 7 – Т1 (вывод теплоносителя); 8 – Т2 (ввод теплоносителя); 9 – Т96 (дренажный трубопровод); 10 – ввод питающей воды; 11 – основание блока; 12- дверь; 13 – котлоагрегаты; 14 – расширительный мембранный бак, система отопления; 15 – блок водоподготовки; 16 – блок газового оборудования; 17 – ввод газопровода; 18 – оборудование отопления, подпитки; 19 – блок автоматизации и электропитания

Котлы такого типа надежны и безопасны в эксплуатации благодаря высокому уровню автоматизации, что позволяет обеспечить бесперебойную работу котлов без обслуживающего персонала (оператора). Контроль за работой блочно-модульной установки можно осуществлять с пульта дистанционного управления.

Система автоматики способна осуществлять пуск и остановку котла, позволяет регулировать температуру воды в теплосети, управлять насосами горячего и холодного водоснабжения, следить за безопасностью и пожарной сигнализацией.

Таким образом, для комфортного проживания в пунктах временного размещения нельзя обойтись без блочно-модульной котельной. Основным параметром выбора БМК является мощность вырабатываемого тепла.

### **Источники**

1. Акимов В.А., Воробьев Ю.Л., Фалеев М.И. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера: учеб. пособие. М.: Высшая школа, Абрис, 2012.

2. Закиров Д.Т., Богданова Н.В. Автономная блочно-модульная система водоочистки // Матер. докладов Межд. молод. науч. конф. «Тинчуринские чтения – 2020 «Энергетика и цифровая трансформация». В 3 т. Т. 2. Теплоэнергетика: матер. конф. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. С. 294-297.

3. Сотникова О.А., Донцов А.В. Достоинства блочно-модульных котельных // Высокие технологии в строительном комплексе. 2018. №. 2. С. 36-40.

УДК 007.51

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

А.Р. Казиханов<sup>1</sup>, Р.Р. Мавлеев<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>Aidan220601@mail.ru, <sup>2</sup>Ryslik592@gmail.com

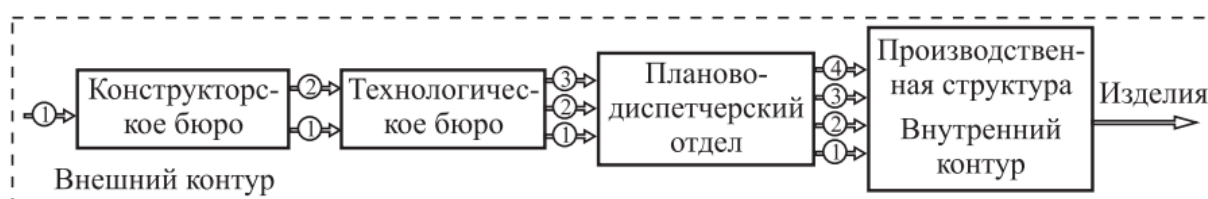
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. О.В. Борисова

В статье рассматривается формализованный документооборот в производственной структуре. Описываются его основные возможности и принципы работы.

**Ключевые слова:** системный анализ; автоматизированная информационная система; производственная структура; документооборот.

Для организации оперативного формирования документации на предприятия внедряется автоматизированная информационная система (АИС), включающая в себя синхронизированные функциональные подсистемы, обеспечивающие руководящие органы всей необходимой документацией и информацией [1]. АИС состоит из ядра и подсистемы клиентских автоматизированных рабочих мест (АРМ). Важнейшими функциями подсистем является: решение задач технической оснащённости производства, стратегическое планирование и прогнозирование расширения производства, оперативное и эффективное руководство ресурсами, бухгалтерский учет [2].

В качестве примера приведен стандартный производственный процесс движения документации в единичном или мелкосерийном производстве (см. рисунок).



Процесс движения документации:

- 1 – техническое задание на разработку продукта; 2 – проектная документация;
- 3 – технологическая документация; 4 – задание на производство работ планово-диспетчерского отдела

Ядро системы содержит в себе такие элементы как: базы знаний о комбинированном производстве (БЗ); базы данных (БД); системы управления базой данных (СУБД); блока управления базовым производством; модуля формирования текущей документации; модуля создания отчетов; блока подготовки комбинированном производстве; алгоритма оптимизации распределения операций по станкам; метода построения оптимального производства на основе БЗ; модуля формирования документации [3].

Основные возможности технологии обработки данных на автоматизированном рабочем месте:

- адаптивность с другими системами;
- электронный процесс обработки документа;
- возможность ведения локальных и распределенных баз данных.

Применение данной вышеописанной технологии минимизирует затраты на документооборот, повышает скорость и качество подготовленных документов, структурирует документооборот благодаря чему значительно увеличивается эффективность управления благодаря рациональной структуре данных.

Основной концепцией современных АИС являются локальные вычислительные сети (ЛВС). ЛВС – это комплекс аппаратного и программного обеспечения, соединяющий вычислительную технику в единую структурированную систему хранения информации и дальнейшую её обработку. ЛВС повышают эффективность использования ПК (Персональный компьютер) и качество систем обработки большого количества данных [4].

Современная экономическая среда, в которую погружены российские промышленные предприятия, характеризуется широким спектром проблем, среди которых развитие глобализации и повсеместная информатизация, активизация инновационной деятельности, кризисные явления, экономические санкции западных и американских стран и др. Хорошо продуманная АИС позволяет лучше понимать, что именно нуждается в улучшении в каждой области, чтобы можно было достичь всех поставленных целей для достижения успеха. Использование АИС позволяет решать проблемы еще до того, как они возникнут, что приведет к повышению уровня удовлетворенности клиентов, а также повышению производительности сотрудников. Это в конечном итоге приводит к снижению затрат и повышению прибыльности компании с течением времени. На сегодняшний день, мир придерживается концепции Индустрии 4.0 и АИС помогает в этом движении. Интегрируя АИС в свои системы управления информацией, компании всегда будут в лидерах.

### **Источники**

1. Юсупова И.В., Нугуманова Л.Ф., Селезнев Д.К. Стратегические основы инновационного развития Республики Татарстан // Вестник КГЭУ. 2018. Т. 10. №1(37). С. 133-139.
2. Информационные системы в экономике: учебник для студентов вузов; под ред. Г.А. Титоренко; 2-е изд., перераб. и доп. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2009. 463 с.
3. Исаев Г.Н. Информационные системы в экономике: учебник. М.: Омега-Л, 2007. 462 с.
4. Мартин Э. Информационные технологии в менеджменте. М.: Финансы и статистика, 2003.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТВОРЧЕСКИМИ ПРОЕКТАМИ

И.С. Квасова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

kvasova.inna@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Н. Богданов

В статье представлены результаты сравнительного анализа систем автоматизации управления проектами. На основе результатов выполненного анализа предложена система для автоматизации процесса управления реализацией творческих проектов подходящая для небольшой команды.

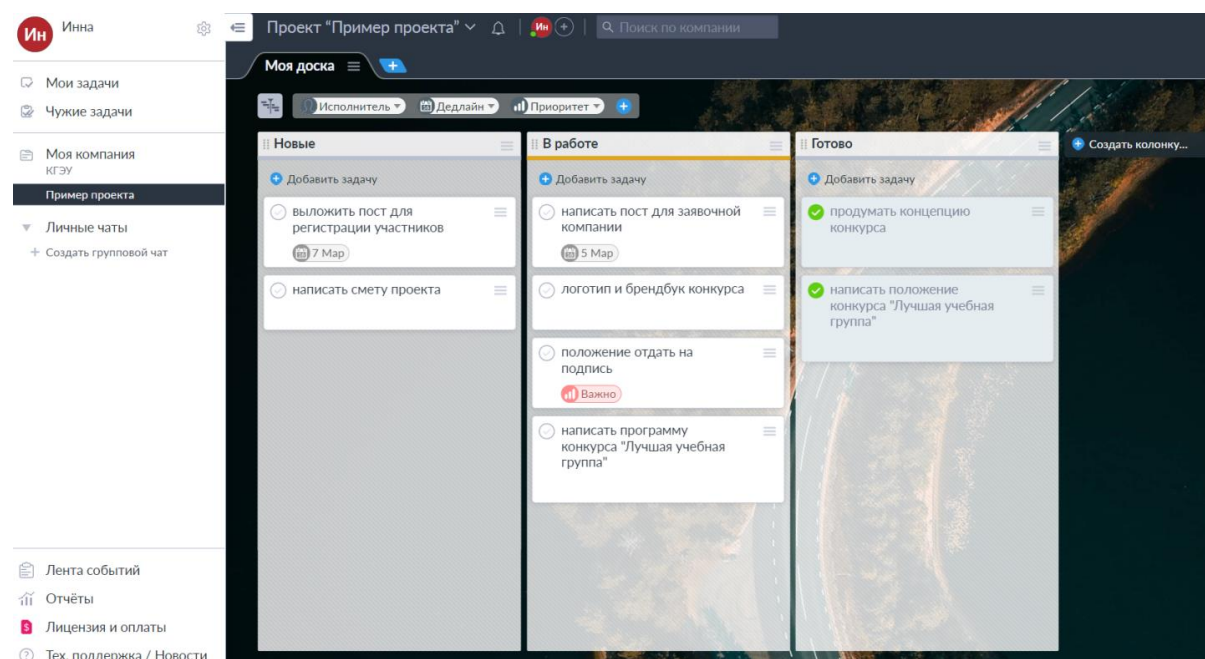
**Ключевые слова:** управление проектами, программное обеспечение, автоматизация деятельности.

Всю свою жизнь человек реализовывает огромное количество проектов – от организации семейных мероприятий до строительства дома. Зачастую это требует слаженной работы команды. Развитие информационных технологий привело к созданию автоматизированных систем управления проектами [1–3]. Управление проектами – это организационная деятельность, направленная на эффективное достижение цели и включающая распределение обязанностей, нагрузки, времени и ресурсов для увеличения качества достигнутого результата. На данный момент существует большое количество систем управления проектами, которые различаются по функционалу и назначению – ведение клиентов, разработка, работа с креативной командой, личное планирование.

В рамках своей внеучебной деятельности я занимаюсь реализацией проектов внутривузовского и городского уровня. Таких как, «Школа актива первокурсников КГЭУ», «Школа старост и профоргов КГЭУ», «Призма культур» и другие. Для такой работы, с целью достижения эффективности и оптимизации затраченного времени, актуальным является применение автоматизированной системы управления творческими проектами.

В рамках данного этапа исследования была поставлена задача выполнить анализ подходящих систем и выбрать одну для дальнейшего тестирования при организации творческих проектов. Анализировались системы, способные обеспечить четкие действия организационной команды, отслеживание эффективности результатов их работы и оптимальное распределение нагрузки.

YouGile – система, объединяющая работу с задачами, планирование и коммуникации (см. рисунок). Обладает множеством функций: доски с заданиями, видеочат, настройка доступа, обмен файлами [4]. Изучив отзывы на данную систему, выделила – легкий интерфейс, бесплатная полнофункциональная и бессрочная версия для команды до 10 человек, быстрая техподдержка, отечественный продукт, чаты для каждой задачи. Основной недостаток – бесплатная версия доступна для команды до 10 человек.



Интерфейс YouGile

Trello – представляет собой доску с основными этапами: анализ, планирование, разработка и мониторинг [5]. Под каждым этапом прописываются задачи, на каждую из которых ставится ответственный человек. Плюсы этой системы: готовые шаблоны досок, интеграция с почтой, легкий интерфейс. Минусы: имеются функциональные ограничения в бесплатной версии (количество доступных досок с задачами, выбор фона), неудобное форматирование текста в задачах, отсутствие встроенного чата.

Bitrix24 – более профессиональная и функциональная система [6]. Кроме досок с задачами в ней возможно осуществлять аудио- и видеозвонки, редактирование документов прямо на рабочем столе, создавать не только задачи и чаты, но и отдельные группы, куда можно приглашать коллег, общаться и обмениваться файлами. Но данная система относительно дорогая, а в бесплатной версии не все возможности доступны.



Выполнив анализ описания и публичных отзывов о данных системах, выбрала YouGile для применения с целью автоматизации управления творческими проектами. Наиболее значимыми преимуществами стали – полнофункциональная и бессрочная версия для команды до 10 человек и простота использования. В ходе следующего этапа исследования планируется протестировать выбранную систему в ходе реализации одного из творческих проектов.

### **Источники**

1. Молебнова Е.А. Корпоративная система управления проектами как инструмент управления проектами // NovaUm.Ru. 2018. № 16. С. 157-158.

2. Баширова М.М. Технология управления проектами и проектными командами на основе методологии гибкого управления проектами // Наука: общество, экономика, право. 2020. № 2. С. 178-183.

3. Мусаева А.К. Сущность и содержание управления проектами, цель и критерии управления проектом // Вестник научных конференций. 2020. № 6-2(58). С. 132-133.

4. Система управления проектами для больших команд [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.yougile.com> (дата обращения 01.03.22).

5. Trello помогает командам эффективно решать рабочие задачи [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://trello.com> (дата обращения 01.03.22).

6. Битрикс24. Помогаем бизнесу работать [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vk.com/bitrix24> (дата обращения 01.03.22).

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКОЙ

А.И. Колесникова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

kolesnikova.nastya2015@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.М. Сафаров

В данной статье рассмотрен вопрос организации системы управления компрессорной установкой в составе компрессорной станции. Особое внимание уделено методу управления работы компрессорной установки с применением систем автоматизации. Представлены ключевые параметры, мониторинг и контроль которых необходимо обеспечить для качественной и эффективной работы установки. Рассмотрены главные преимущества применения таких систем, связанных с исключением человеческого фактора, сокращения числа отказов и аварий, увеличение ресурса работы агрегата, обеспечение высокой степени надежности работы всей системы в целом.

**Ключевые слова:** система управления, компрессорная установка, компрессорная станция, надежность, автоматизация, безопасность, параметры газа, иерархия.

Главным объектом оперативного управления и контроля на крупных газопроводах являются компрессорные станции, которые совершают работу и сообщают энергию газу для его перемещения по коммуникациям.

Зачастую компрессорные станции являются сложносоставными объектами с различным оборудованием и агрегатами.

Именно по этой причине компрессорная станция и компрессорная установка, в частности, являются важным ответственным узлом, процесс управления которым выражается в комплексном контроле множества параметров, требующих согласованности и точности [1].

Например, одной из главных задач управления работы компрессорной установки является поддержание постоянного значения давления на входе в компрессорную установку, которое обеспечивает оптимальные параметры работы агрегата.

В рамках компрессорной станции данная задача сводится к поддержанию давления на входе для каждого агрегата в соответствии с характеристиками оборудования и распределением нагрузки на них.

Помимо давления на входе в компрессорную установку для управления работой установки необходимо осуществлять контроль таких параметров как температура, расход, влагосодержания и степень чистоты газа на выходе из компрессорной установки и компрессорной станции в целом [2].

Для решения вопроса управления сложными процессами и контроля параметров работы компрессорной установки возможно применение средств контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации технологических процессов.

Структура автоматизированных систем управления компрессорной установки, как правило, разделяют на два иерархических уровня.

Верхний уровень системы управления подразумевает задание параметров работы локальной установки оператором, используя при этом программные и аппаратные средства для мониторинга текущих параметров работы компрессорной установки

Нижний уровень системы управления обеспечивает согласованную работу локальных систем управления каждого из узлов компрессорной станции, с целью создания условий стабильной работы компрессорной станции в соответствии с требуемыми параметрами [3].

Таким образом главной задачей автоматизации системы управления работой компрессорной установки и оптимизации технологического режима ее работы заключается в определении и поддержании таких параметров работы узлов компрессорной станции, чтобы параметры газа на выходе удовлетворяли определенным требованиям. При этом важно учитывать взаимосвязь между входными и выходными параметрами работы компрессорной станции.

Кроме того, побочной задачей система автоматизированного управления работой компрессорной станции является обеспечение сохранности оборудования в процессе его работы, минимизация его нерационального и повышенного износа, профилактика отказов и аварий оборудования.

Актуальность и перспективы развития и применения систем управления компрессорной станцией и компрессорной установкой, в частности, заключается в возможности исключения человеческого фактора и возможных ошибок оператора [4].

Отдельно стоит отметить возможность дистанционного мониторинга и управления параметрами работы компрессорной станции. Автоматизированная система обеспечивает сбор, хранение и анализ данных, на основе которого можно прогнозировать планово-предупредительный ремонт оборудования по истечению лимита по наработке часов работы.

Кроме планового, такой подход позволяет прогнозировать и неплановые ремонтные работы, обоснованные отклонением одного или нескольких параметров работы оборудования. Так же возможно использование данных об авариях и параметрах, предшествующих им для предотвращения аналогичных и замены или ремонта конкретного узла, спровоцировавшего подобную аварию [5].

Таким образом, создание и применение комплексной системы управления компрессорной установки с применением средств автоматизации позволяет повысить качество выходного продукта компрессорной станции, снизить число аварий и отказов данного оборудования, что особенно актуально для станций высокой мощности, относящихся к опасным производственным объектам, за которыми организован особый надзор и ответственность за их исправную работу.

### **Источники**

1. Меньшиков С.Н. [и др.] Создание инновационных систем управления, направленных на повышение эффективности работы оборудования дожимных компрессорных станций // Газовая промышленность. 2019. № 3 (781). С. 18-22.

2. Лабынцев Д.С., Проскурин Д.А. Применение SCADA системы для автоматизации управления газовыми компрессорными установками // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии. 2021. С. 509-513.

3. Хайруллин Н.Ш. Исследование системы управления газовой компрессорной установкой // Научный аспект. 2020. Т. 17. №. 2. С. 2187-2198.

4. Калашник Д.В., Рахимбердин Р.З. Разработка когнитивной модели взаимодействия системы компрессорной станции // Передовые научно-технические и социально-гуманитарные проекты в современной науке: сб. статей I межд. науч.-практ. конф. 2018. С. 22-24.

5. Ильюшин Ю.В., Афанасьева О.В. Разработка SCADA-модели компрессорной станции магистрального газопровода // Записки Горного института. 2019. Т. 240.

## СОЗДАНИЕ ПРОЕКТА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ОСНОВАМ РОБОТОТЕХНИКИ НА БАЗЕ ARDUINO

Р.В. Куликов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань

rodion.clash@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, зав. каф. В.В. Плотников

В данной статье рассмотрено создание конструктора на базе Arduino для популяризации и приобщения обучающихся школ и университетов к робототехнике.

**Ключевые слова:** робототехника, Arduino, машинка.

В современном мире достаточно значимое место стала занимать робототехника. Она является одной из сфер науки, которая находится на границе между механикой, электроникой и программированием. Сегодня робототехника является перспективной областью, которая затрагивает все сферы жизни – начиная от производства и заканчивая повседневной жизнью [1]. Многие студенты, пытаясь начать свою новаторскую деятельность в этом направлении, не понимают каким именно проектом им заняться. Увидев все множества различных возможностей, они теряются, и из-за этого зачастую отказываются от идеи заниматься робототехникой. Поэтому для приобщения студентов к робототехнике был разработан проект дистанционно управляемой машинки на базе Arduino.

Сейчас при покупке готовых наборов для обучения робототехнике необходимо выложить довольно внушительную сумму. Начальная цена комплектов для создания машинок на дистанционном управлении составляет от 5 тыс. рублей. Такая сумма является неподъемной для многих студентов.

В состав разработанной машинки входят: плата Arduino, 2 коллекторных двигателя постоянного тока с редуктором, 2 биполярных транзистора PNP типа, батарейка крона на 9 В, Bluetooth модуль HC 05 для обеспечения обмена данных между смартфоном и платой. Стоимость всех этих компонентов составляет 2–3 тыс. рублей. На рисунке ниже можно увидеть соединение элементов машинки.

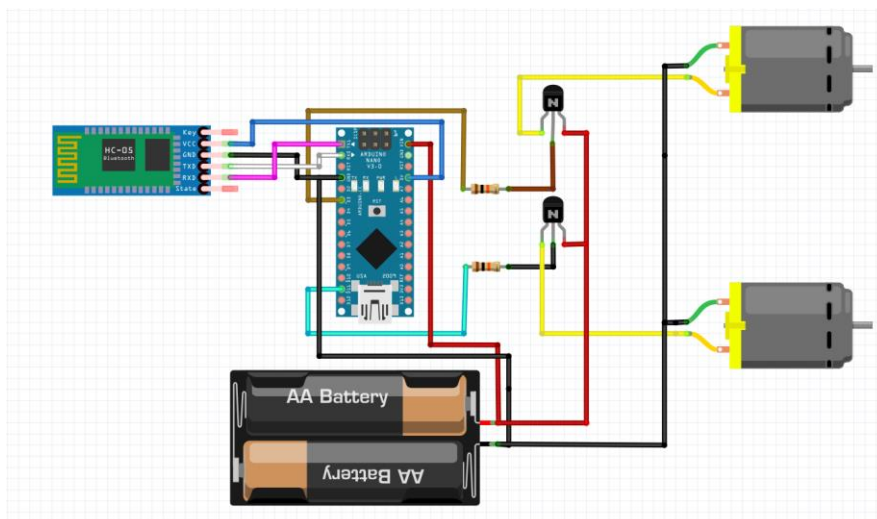


Схема соединения элементов

В качестве корпуса для проекта была использована старая компьютерная мышка. Все ее внутренние компоненты были убраны, отсоединен USB-кабель. В корпус было помещено 2 электродвигателя, Bluetooth модуль и плата Arduino [2]. В связи с малым свободным местом в корпусе мыши было решено реализовать управление двигателем при помощи биполярных транзисторов. Вдобавок к компактности, этот способ управления двигателем является одним из наиболее простых и дешевых. Как известно, транзистор способен работать не только в усилительном, но и ключевом режиме. При подаче на базу PNP транзистора (с электронной проводимостью) тока происходит открытие канала, через транзистор начинает протекать ток. В NPN транзисторе (с дырочной проводимостью) ситуация обстоит ровно наоборот – при подаче тока на базу транзистор закрывается. Исходя из удобства эксплуатации и программирования выбор был остановлен на биполярном транзисторе с каналом N-типа (PNP транзистор). Стоит отметить, что при увеличении тока на базе ширина канала будет увеличиваться, а вместе с ним и ток через транзистор, за счет этого возможна регулировка скорости двигателя. Поворот машины реализован одновременной остановкой одного двигателя и работой другого. Поэтому осуществлено раздельное управление двигателями от 2 разных транзисторов.

Управление машинкой осуществляется через телефон. Смартфон отправляет управляющий сигнал Bluetooth модулю, а он, в свою очередь, передает его на плату Arduino, где вырабатывается сигнал для управления двигателем.

Для оптимизации процесса обучения предполагается создание справочной брошюры, в которой будут отражены основные этапы создания машинки, теория для затруднительных и проблемных ситуаций, возможные проблемы и способы их устранения ошибок.

Таким образом, проект дает обучающимся такие умения, как конструирование робототехнических систем, чтение и построение электротехнических схем, пайка радиодеталей [3]. Также значимое место занимает обучение основам работы на Arduino, а именно: основы программирования на Arduino C, задание необходимых режимов работы пинов платы, использование широтно-импульсной модуляции для регулирования скорости двигателя, установление обмена данными между смартфоном и платой.

### **Источники**

1. Нигматуллин В.Р., Фахретдинов А.В., Байгильдин С.С., Ахмедьянов Г.Г. Робототехника // Наука, техника и образование. 2019. №3 (56).

2. Выдрин Д.Ф., Махнёва А.О., Мавлютов А.Р. Платформа Ардуино: преимущества // Academy. 2017. №1 (16).

3. Сафонова В.Ю., Попов Ю.В., Беспалов А.О. О первых шагах студентов и школьников при работе с платформой ARDUINO // Информация и образование: границы коммуникаций INFO. 2018. №10 (18).

УДК 631.363:661.155

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ НАГРЕВА СУШИЛЬНОГО БАРАБАНА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МОНОКАЛЬЦИЙФОСФАТА**

О.А. Молокова<sup>1</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>molokova-olya@mail.ru, <sup>2</sup>maleev@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Н.А. Малёв<sup>2</sup>

В работе рассматриваются возможности модернизации автоматизированной системы управления технологическим процессом нагрева сушильного барабана при производстве монокальцийфосфатов. Проведен анализ функциональной схемы системы нагрева сушильного барабана и предложен алгоритм оптимизации технологического процесса, обеспечивающий поддержание требуемого значения температуры в условиях влияния дестабилизирующих факторов.

**Ключевые слова:** автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП), барабан горячего сушения (БГС), монокальцийфосфат, функциональная схема автоматизации, модернизация.

С кормами, дополненными монокальцийфосфатом [1], сельскохозяйственные животные получают необходимые вещества, которые способствуют формированию прочной костной ткани и скелета, улучшают обмен веществ, работу нервной системы, иммунной и репродуктивной систем. В связи с этим минеральные добавки являются неотъемлемой частью рациона скота. Поддержание определенной температуры в процессе сушки при производстве монокальцийфосфатов является актуальной задачей, так как нарушение температурного режима может привести к забраковке продукта.

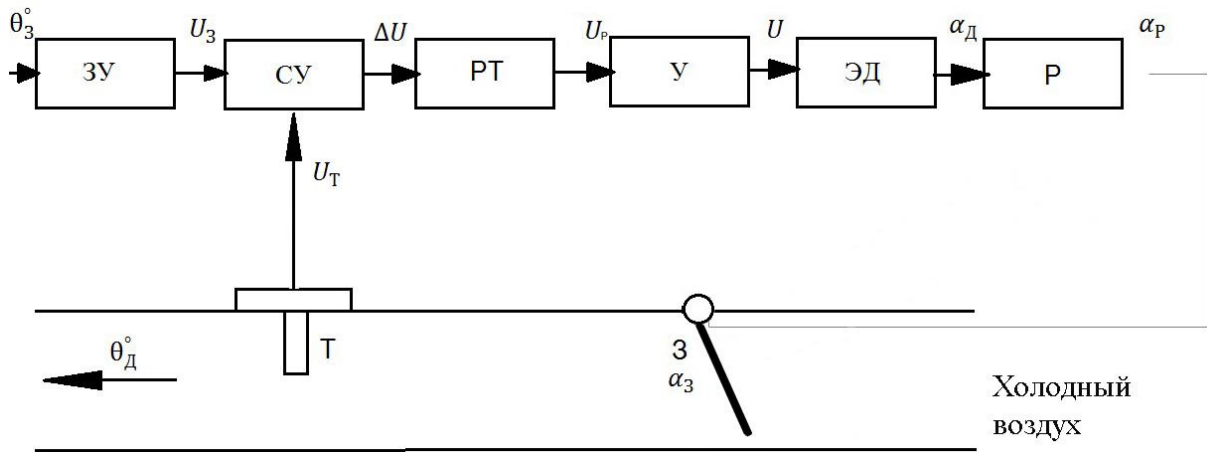
Технологический процесс сушки состоит в следующем: в камеру барабана поступает смесь (мел, обработанный фосфорной кислотой), которая проходит по внутренней части, перемещаясь при помощи лопаток [2]. Сушка производится потоком горячего воздуха при средней температуре 150 °С [3].

Назначение АСУ ТП нагрева сушильного барабана: поддержание заданных температуры и объема теплоносителя, подаваемых в БГС, с постоянным контролем параметров (давления, температуры, расхода газа, расхода воздуха, разряжения в дымоходе после сушильного барабана, температуры заданной и текущей и т.д.) и выдачей предупредительных и аварийных сигналов при нарушениях хода технологического процесса, а также отключение подачи газа на горелку (с одновременной подачей светового и звукового сигнала) при отклонении заданных параметров от нормы [4].

В качестве модернизации предлагается сформировать замкнутую систему автоматического управления температурой с датчиком температуры в обратной связи. Исполнительным механизмом в данном случае будет являться задвижка с электрическим приводом, обеспечивающая регулирование подачи холодного воздуха.

В соответствии с этим на рисунке показана функциональная схема контроля и регулирования температуры подаваемого в камеру барабана воздуха. Датчик температуры формирует электрический сигнал, пропорциональный значению текущей температуры, который поступает на сумматор, где текущая температура сравнивается с заданной. Затем регулятор температуры формирует необходимый управляющий сигнал, снижающий рассогласование. За счет соответствующего положения задвижки исполнительный механизм обеспечивает требуемую подачу холодного воздуха [5].





Функциональная схема системы контроля и регулирования температуры

На функциональной схеме представлены следующие элементы: ОУ – объект управления; ЗУ – задающее устройство; Т – датчик температуры; СУ – суммирующий усилитель; РТ – регулятор температуры; У – усилитель мощности; ЭД – электродвигатель; Р – редуктор; З – заслонка.

Координаты системы:  $\theta_d^\circ$  – действительное значение температуры пара;  $\theta_3^\circ$  – заданное значение температуры;  $U_3$  – напряжение, выдаваемое задающим устройством;  $U_T$  – напряжение на выходе термопары;  $\Delta U = U_3 - U_T$  – напряжение, выдаваемое сравнивающим устройством;  $U_p$  – напряжение на выходе регулятора;  $U$  – напряжение на выходе усилителя;  $\alpha_d$  – угол поворота вала двигателя;  $\alpha_p$  – угол поворота вала редуктора;  $\alpha_3$  – угол поворота заслонки.

Для синтеза регулятора температуры применяется метод настройки на технический оптимум с получением структуры регулятора температуры, обеспечивающего астатизм системы управления и стабилизацию температуры в условиях внешних возмущений. Алгоритм оптимизации состоит в следующем.

Определим передаточную функцию для настройки на технический оптимум (ТО):

$$W_{\text{ТО}}(s) = \frac{1}{2T_{\Sigma}s(T_{\Sigma}s + 1)},$$

где  $T_{\Sigma}$  – суммарная малая постоянная времени неизменяемой части  $W_H(s)$  настраиваемой системы.

Математическая модель неизменяемой части представляет собой произведение передаточных функций усилителя мощности, электродвигателя, редуктора и датчика температуры.

Тогда структуру регулятора температуры определим из выражения:

$$W_{\text{РТ}}(s) = \frac{W_{\text{ТО}}(s)}{W_{\text{Н}}(s)}.$$

Данная настройка обеспечит АСУТП нагрева барабана сравнительно высокое быстродействие при перерегулировании не более 5 %, а также инвариантность к внешним возмущениям.

### Источники

1. Преимущества использования кормовых фосфатов // Каталог продукции БФ АО «Апатит»-ФосАгро. Балаково, 2021. С. 34-36.

2. Описание технологического процесса сушки добавок, вводимых в цемент в сушильных барабанах [Электронный ресурс] // Студенческая онлайн-библиотека Studbooks.net Режим доступа: [https://studbooks.net/1453640/tovarovedenie/tehnologicheskij\\_razdel](https://studbooks.net/1453640/tovarovedenie/tehnologicheskij_razdel) (дата обращения 20.02.2022).

3. Кормовые фосфаты, монокальцийфосфат. Технология получения и основные стадии производства кормовых фосфатов [Электронный ресурс] // Студенческая социальная сеть СтудИзба Режим доступа: <https://studizba.com/lectures/himija/himicheskaja-tehnologija-mineralnyh-udobrenij> (дата обращения 28.02.2022).

4. Назначение АСУ ТП системы отопления сушильного барабана // Пояснительная записка к АСУ ТП объекта автоматизации – системы отопления сушильного барабана БФ АО «Апатит» ЦМС ФОК-2. Балаково, 2020. С. 8.

5. Шувалов Е.В., Шарпар Н.М., Жмакин Л.И. Методы регулирования теплотребления барабанной сушильной машины с канальной системой нагрева паром контактной поверхности // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. № 11-12. С. 103.

## СОЗДАНИЕ ОПЫТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ПО АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ СИСТЕМАМ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

А.М. Мугинов<sup>1</sup>, А.Ф. Зиангиров<sup>2</sup>, М.О. Уткин<sup>3</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>aqwewerr@gmail.com, <sup>2</sup>zinaydar@mail.ru, <sup>3</sup>209maks@mail.ru

Науч. рук. канд. тех. наук, доц. В.А. Рукавишников

В статье представлен созданный образовательный стенд на базе российских контроллеров «BOLID», который поможет студентам в наработке практических навыков и повышении конкурентоспособности на рынке труда.

**Ключевые слова:** противопожарная сигнализация, пожарные извещатели, оповещатели, приемно-контрольный прибор, преобразователь интерфейсов, блок сигнально-пусковой, блок защитный коммутационный, пульт контроля и управления охранно-пожарный, резервный источник питания.

Современные производственные технологии в области автоматизации технологических процессов, развития микроконтроллерной техники и электроники требуют от организаций высшего профессионального образования подготавливать специалистов широкого профиля. Для формирования профессиональных навыков обучающиеся не только должны развиваться в рамках общего образовательного курса, но и развиваться технически за счет решения производственных задач, работы с реальным оборудованием в условиях максимально приближенным к условиям осуществления их трудовой деятельности. Согласно концепции развития университета, выдвинутой Э.Ю. Абдуллазяновым – «Главная наша цель – это качество образования». Именно поэтому практико-ориентированный подход в сфере образования – это ключ к широкопрофильным специалистам нового уровня.

При реализации современных образовательных программ, огромное значение придается теоретическим знаниям, в то время как практика остается либо рассмотренной условно, либо упущенной. Поэтому переход к практике, как связующей единице между теоретическими знаниями, является основой современного качественного образования.

Компания «Болид» – лидер в разработке интегрированных систем безопасности. За последние 20 лет популярная система охраны «Орион» нашла своего потребителя более чем на 1 000 000 объектов и стала самой распространенной в России [1].



Стенд по автоматизированным системам пожаротушения

Стенд по автоматизированным системам пожаротушения предназначен для получения практических навыков студентами (см. рисунок). На данном стенде студенты могут собирать различные схемы противопожарной сигнализации. В его состав входят множество устройств. Их можно разделить на следующие категории:

- пожарные извещатели – сюда относятся технические средства, которые фиксируют показатели окружающей среды. Конкретно на данном стенде используются извещатель пожарный дымовой ИП 212-45, извещатель пожарный ручной ИПР 513-10, а также устройство дистанционного пуска УДП-513-10;

- оповещатели – устройства, предназначенные для оповещения людей о тревоге с помощью звуковых и световых сигналов. На стенде присутствуют такие световые оповещатели, как «ПОЖАР», «ВЫХОД», «ПОРОШОК! НЕ ВХОДИ», «ГАЗ! УХОДИ!», «АВТОМАТИКА ВКЛЮЧЕНА»;

- приемно-контрольный прибор – многофункциональное устройство, предназначенное для приема сигналов от извещателей по шлейфам сигнализации. В данном случае используются – прибор приемно-контрольный и управления охранно-пожарный СИГНАЛ-20М, блок приемно-контрольный охранно-пожарный С2000-4;

– преобразователь интерфейсов – предназначен для конвертации данных интерфейсов RS-232/RS-485 в Ethernet и обратно (С2000-ПИ);

– блок сигнально-пусковой – это релейный блок с управлением по интерфейсу RS-485, который предназначен выполнять функции управления исполнительными устройствами, а также подавать тревожные извещения на пульт централизованного наблюдения (С2000-СП1);

– блок защитный коммутационный – необходим для распределения тока источника питания по 8-ми каналам с индивидуальной защитой (БЗК исп. 01);

– пульт контроля и управления охранно-пожарный – предназначен для управления вышеперечисленными противопожарными устройствами (С2000М);

– резервированный источник питания – предназначен для питания всех вышеперечисленных устройств постоянным напряжением 24 В (РИП-24 исп. 01) [2].

Основные задачи системы пожарной сигнализации в совокупности с организационными мероприятиями – спасение жизни людей и сохранение имущества. Минимизация ущерба при пожаре напрямую зависит от своевременного обнаружения и локализации очага возгорания [3]. Поэтому обучение студентов основам работы с устройствами противопожарной сигнализации всегда будет актуальной.

### **Источники**

1. О КОМПАНИИ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bolid.ru/about/> (дата обращения 09.03.2022).

2. Каталог продукции BOLID [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://bolid.ru/files/491/669/h\\_7abae323f5ffd9ba5153b4e1cde7e139](https://bolid.ru/files/491/669/h_7abae323f5ffd9ba5153b4e1cde7e139) (дата обращения 10.03.2022).

3. Пожарная сигнализация [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bolid.ru/projects/iso-orion/fire-automatic/ps/#descr0> (дата обращения 10.03.2022).

## ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПТК

А.М. Муратова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

adelamuratova59@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, зав. каф. В.В. Плотников

В статье рассмотрены классификация программно-технических комплексов, их отличительные черты, а также их применение для автоматизации технологических процессов и производств. Проведен анализ некоторых технических и рабочих характеристик ПТК Круиз, TELEPERM XP-R и AlfaRegul.

**Ключевые слова:** программно-технический комплекс, контроллеры, автоматизация, предприятие.

В XXI веке автоматизация технологических процессов на производстве стала неотъемлемой частью эффективной работы предприятия. Она осуществляется на базе универсальных микропроцессорных контроллерных средств или, другими словами, программно-технических комплексов (ПТК), которые входят в структуру автоматизированной системы управления технологическим процессом [1].

Все ПТК распределены на классы по величине обрабатываемых данных, а также по функциям, выполняемым при их работе: контроллер на базе персонального компьютера (PC), локальной программируемый логический контроллер (ПЛК), сетевой комплекс компьютеров, распределенные маломасштабные системы управления и полномасштабные распределенные системы управления.

Контроллеры на базе PC в большинстве случаев используются для управления замкнутыми, малыми объектами в промышленности, в специализированных системах автоматизации в медицине, научных лабораториях. Одним из преимуществ таких систем - программированием контроллера на обычном языке высокого уровня [2].

Локальный ПЛК отличается сравнительно небольшой вычислительной мощностью. Различают два наиболее распространенных типа: встраиваемый в оборудование, выступающий его неотъемлемой частью и автономный, выполняющий задачи контроля и управления небольшим, в достаточной мере изолированным технологическим объектом [2].

Большинство отраслей промышленности используют сетевые комплексы контроллеров, оборудование которых чаще всего имеет ряд модификаций, облегчающий применение сетевого комплекса для разнообразных технологических объектов [2].

Схожими ПТК можно считать распределенные системы управления (PCY) малого масштаба. Основные отличия PCY от сетевых комплексов контроллеров выражаются в большем спектре различных модификаций контроллеров, панелей оператора, блоков ввода/вывода; большой мощности центральных процессоров. Маломасштабные PCY применяются на отдельных цехах и участках производства [2].

Класс микропроцессорных ПТК, превосходящий все остальные по мощности и объему выполняемых задач, - полномасштабные PCY. Этот ПТК не ограничен в сложности выполняемых функций. Одна такая система организывает автоматизацию производственной деятельности крупномасштабного предприятия любой отрасли производства.

На примере ПТК AlfaRegul отечественной фирмы «ПРОСОФТ-СИСТЕМЫ» рассмотрим характеристики современного комплекса в сравнении с двумя представителями ПТК прошлого века Круиз и TELEPERM XP-R. Результаты представлены в таблице [3, 4].

Характеристики ПТК

Наименование ПТК	Уровни сети	SCADA программа	Тип процессора, частота обработки МГц	Минимальное время цикла прикладной программы, мс	Диапазон рабочих температур, °С	Особенности блоков ввода/вывода
Круиз	промышленный	Trase mode (открытая SCADA)	At5*86, 133	50	от +10 до +45	инициативный дискретный
TELEPERM XP-R	информационный, промышленный, полевой	GET-OM (собств. SCADA)	Нет центрального процессора, все функциональные модули построены на микропроцессоре - Intel 80186, 20	10	от +10 до +40 (удаленные блоки ввода/вывода - от 0 до +55)	импульсно-частотный
AlfaRegul	информационный, промышленный, полевой	Альфа платформа (собств. SCADA)	Intel Atom Z520, 1330	1	от -40 до +60	импульсно-частотный

Анализ данных таблицы позволяет определить, что современные ПТК во многом превосходят устаревших представителей комплексов, но для выполнения некоторых функций и задач производства будет достаточным применения старых ПТК. Также показатели комплекса TELEPERM XP-R не во многом уступают AlfaRegul, что ставит его в более выигрышную позицию для решения вопросов по автоматизации на объектах малых и средних масштабов мощности – технологических участках и отдельных агрегатах [4].

### Источники

1. Денисова А.Р., Спасов Д.П., Галяутдинова А.Р., Иванова В.Р. Исследование работоспособности и качества функционирования трансформаторного оборудования электротехнических систем // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. 22(3). С. 23-35.

2. Музипов Х.Н. Программно-технические комплексы автоматизированных систем управления: учеб. пособие. Тюмень: ТюмГНГУ. 2015. С. 10-15.

3. Elec.ru: Сетевое издание. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.elec.ru/viewer?url=/files/2018/05/15/Каталог\\_Программируемые\\_логические\\_контроллеры.pdf](https://www.elec.ru/viewer?url=/files/2018/05/15/Каталог_Программируемые_логические_контроллеры.pdf) (дата обращения 28.02.2022).

4. Ицкович Э.Л. Серия аналитических обзоров по автоматизации производства. Вып. 2. Программно-технические комплексы (ПТК) отечественных фирм. М.: 2005. С. 42-48, 102-111, 127-139.

УДК 004.01

## РАЗРАБОТКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА АСУ ДЛЯ ПРОТОТИПОВ НА ARDUINO

А.М. Пирогова<sup>1</sup>, З.Ф. Хамидуллин<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>alexndra200204@gmail.com, <sup>2</sup>khamidullinzulfatar@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. В.А. Данилов

В статье приведены результаты анализа факторов, влияющих на визуальную составляющую человеко-машинного интерфейса в автоматизированных системах. Представлены прототипы пользовательского интерфейса для учебных проектов автоматизированных систем управления, реализованных на платформе Arduino.

**Ключевые слова:** пользовательский интерфейс, SCADA-система, обучение, Arduino.



Arduino является одной из популярнейших электронных платформ для прототипирования благодаря доступности комплектующих и информационно-справочных ресурсов. С использованием Arduino можно разработать широкий спектр автоматизированных прототипов и макетов от умной мини-теплицы до роботизированных манипуляторов [1-2].

На базе Молодежного инновационного центра «Энергия» студентами разрабатываются различные учебные автоматизированные прототипы. Данные прототипы позволяют развить начальные навыки подключения датчиков и исполнительных устройств к микроконтроллерам, создания и настройки действующих автоматизированных систем.

Одним из важнейших элементов автоматизированных систем является человеко-машинный интерфейс. Для учебных прототипов автоматизированных систем на Arduino также актуальным представляется организация пользовательского интерфейса. Данный интерфейс может быть реализован на компьютере с прямым или удаленным через интернет подключением к микроконтроллеру, в формате сайта, программы для компьютера или для мобильного устройства. На визуальную составляющую пользовательского интерфейса будут влиять:

- выбор из вышеперечисленных способов реализации;
- функциональные возможности прототипа;
- инструментальная среда разработки.

Пример реализации человеко-машинного интерфейса в SCADA-системе Trace Mode для проекта, реализованного на Arduino, был представлен в предыдущей работе [3].

Прототип пользовательского интерфейса для дистанционного управления самодельными роботизированными устройствами в рамках онлайн-соревнований представлен на рис. 1.

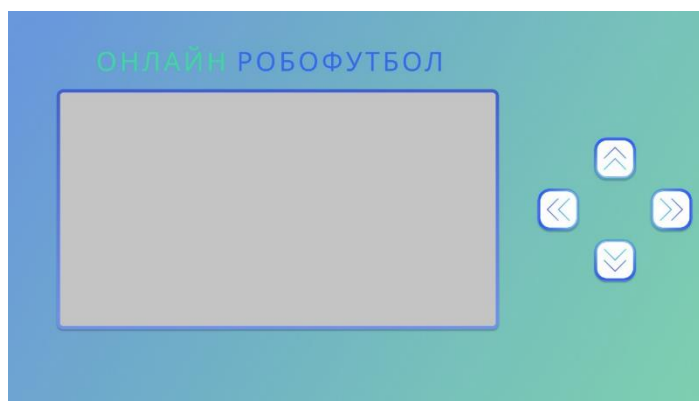


Рис. 1. Прототип интерфейса управления

Прототип пользовательского интерфейса для дистанционного управления системой автоматизированного ухода за комнатным растением представлен на рис. 2.



Рис. 2. Прототип интерфейса управления

Данный пользовательский интерфейс может быть применен в учебном проекте создания автоматизированной системы ухода за комнатными растениями, разрабатываемом с использованием комплектующих платформы Arduino [4].

### Источники

1. Унайбаев Б.Ж., Пак В.Г., Зозуля Е.С. Краткий обзор и перспективы применения микропроцессорной платформы Arduino в учебном процессе // Механика и технологии. 2019. № 4(66). С. 193-198.

2. Клопков А.А., Кузнецов И.М. Навигационный комплекс беспилотного транспортного средства на базе ARDUINO // XXVIII Международная научно-техническая конференция «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации»: сб. трудов. Алушта: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2019. С. 128-129.

3. Бекмурзина М.Т., Пирогова А.М. Arduino и Trace Mode // XXV Всерос. асп.-маг. науч. семинар, посв. Дню энергетика: матер. конф.: в 3 т. Казань: КГЭУ, 2022. Т. 2. С. 281-284.

4. Ершова В.С., Конов Д.А., Богданов А.Н. Разработка автоматизированной системы ухода за комнатными растениями // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация. В 3 т. Т. 2. Теплоэнергетика: матер. Межд. молод. науч. конф. Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. С. 317-320.

УДК 654.924.5

## **ЗАДАЧИ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ**

А.В. Платонова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

platonova.al2016@yandex.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. К.Х. Гильфанов

В данной статье рассмотрены основные задачи элементов системы пожарной безопасности, принципы работы, типы и виды формируемых сигналов систем автоматической пожарной сигнализации.

**Ключевые слова:** пожарная безопасность, извещатели, приемно-контрольный прибор, сигнализация, шлейф, анализ данных.

Пожарная сигнализация – это совокупность технических средств, предназначенных для обнаружения пожара, обработки, передачи в заданном виде извещения о пожаре, специальной информации и выдачи команд на включение автоматических установок пожаротушения и включение исполнительных установок систем противодымной защиты, технологического и инженерного оборудования, а также других устройств противопожарной защиты [1].

Если описать кратко, то целью установки пожарной сигнализации является обнаружение источников возгорания и немедленного реагирования на это событие. Объекты, где постоянно пребывают люди, обязательно должны быть оснащены системами пожарной безопасности, чтобы избежать массовых поражений людей, а также обеспечить минимально возможную вероятность возникновения пожара.

Решение основных задач пожарной сигнализации обеспечивается различными средствами. В ее состав входит оборудование трех основных категорий: оборудование централизованного управления пожарной сигнализацией, оборудование сбора и обработки информации от извещателей пожарной сигнализации – приборы приемно-контрольные пожарные, устройства обнаружения – датчики, т.е. извещатели пожарной сигнализации [2].

Пожарные извещатели предназначены для своевременного обнаружения и передачи сведений в случае возникновения пожара и его сопутствующих факторов.

Выдача сигнала от пожарного извещателя происходит по одной из следующих причин:

1. Резкое повышение температуры в конкретном помещении и месте.
2. Резкое увеличение концентрации частиц дыма.
3. Появление инфракрасного или ультрафиолетового излучения, испускаемого открытым пламенем.
4. Ручная активация.

При подборе пожарных извещателей необходимо учитывать такие параметры, как порог срабатывания (чувствительность), инерционность, контролируемая площадь.

Приемно-контрольный прибор является основным элементом системы, считывающим и обрабатывающим информацию с внешних датчиков, передающих управляющие сигналы для активации устройств оповещения в случае возникновения аварийной ситуации.

Технические средства автоматических систем пожарной сигнализации должны выполнять следующие задачи:

- обеспечение электрической и информационной совместимости друг с другом и с другими техническими средствами, воздействующими на них;
- обеспечение принципа управления в соответствии с типом контролируемого оборудования и требованиями конкретного объекта;
- быть устойчивыми к электромагнитным помехам при максимально допустимых значениях уровня, характерных для защищаемого объекта;
- обеспечивать электробезопасность.

Линии связи между инженерными сооружениями должны быть выполнены с учетом их работоспособности в случае возникновения пожара, на время, необходимое для обнаружения пожара, выдачи сигналов об эвакуации, время, необходимое для эвакуации людей и для управления другими техническими средствами.

Принцип работы систем автоматической пожарной сигнализации определяется в зависимости от ее типа и от вида генерируемого сигнала. Системы, в которых приемно-контрольные приборы определяют состояние шлейфа сигнализации путем измерения электрического тока в шлейфе сигнализации с установленными в него извещателями, называются безадресными. В таких системах приемно-контрольные приборы могут находиться лишь в двух состояниях готовности: «норма» и «пожар». Пожарные извещатели сгруппированы для охвата нескольких помещений. В случае срабатывания пожарного извещателя на пульт выводится сообщение о возгорании по шлейфу, и для определения сработавшего пожарного извещателя, потребуется обход.

В адресной системе каждый пожарный извещатель имеет определенный адрес и регулярно опрашивается контрольной панелью.

В адресно-пороговой системе приемно-контрольный прибор циклически опрашивает подключенные пожарные извещатели с целью выяснить их состояние. При этом каждый извещатель в шлейфе имеет свой уникальный адрес и может находиться уже в нескольких статических состояниях: «норма», «пожар», «неисправность» и проч. Такой алгоритм опроса позволяет с точностью определить место возникновения пожара.

Самой прогрессивной системой является адресно-аналоговая система. В адресно-аналоговых системах решение о состоянии объекта принимает контрольный прибор, а не извещатель. В конфигурации контрольного прибора для каждого подключенного адресного устройства заданы пороги срабатывания. Контрольный прибор постоянно опрашивает подключенные устройства и анализирует полученные данные, сравнивая их с пороговыми значениями. Стоит отметить одну из особенностей данной системы – возможность подключения адресной линии кольцевой топологией. В этом случае обрыв адресной линии приведет к тому, что она просто распадется на два радиальных независимых шлейфа, полностью сохраняющих свою работоспособность.

Автоматическая пожарная сигнализация является эффективным техническим средством борьбы с пожарами, однако общая эффективность системы пожаротушения находится в прямой зависимости от правильно спроектированной системы пожарной сигнализации на основе данных, полученных от пожарного извещателя. Поэтому, правильное размещение конкретного типа датчика для конкретных помещений и целей, а также качество пожарных извещателей позволяет определить эффективность системы противопожарной защиты объекта в целом.

## Источники

1. Производственная и пожарная автоматика. Ч.2. Автоматическая пожарная сигнализация: учебник: в 2 ч./ В.П. Бабуров, В.В. Бабурин, А.В. Федоров и др.; под ред. В.П. Бабурова, В.И. Фомина. М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. 270 с.

2. Байков А.И., Елькин А.Б. Системы пожарной сигнализации. Принципы и средства построения. 2011.

УДК 654.9

## РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ПГУ-250 ГОРОДА КАЗАНЬ

И.А. Поплавский<sup>1</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>hope\_jefferson@bk.ru, <sup>2</sup>cmvorkut@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. М.А. Сафин<sup>2</sup>

Представлено общее описание, а также функциональные возможности разрабатываемых охранных систем на территории ПГУ-250 города Казань. В статье будут рассмотрены следующие системы: система охранной сигнализации, система охранного телевидения, система контроля и управления доступом, система охранного освещения. Показаны преимущества принятых решений по проектированию охранных систем на промышленных объектах.

**Ключевые слова:** безопасность, цифровизация, производство, инновации.

Система охранной сигнализации (СОС) предназначена для автоматического обнаружения несанкционированного проникновения (попытки проникновения) нарушителей (транспортных средств, одиночных лиц, группы лиц, в том числе оснащенных техническими средствами) в контролируемые зоны с формированием тревожных извещений.

Всего проектом предусматривается формирование двух рубежей охраны: периметральный и внутренний. Для формирования периметрального рубежа охраны используются вибрационные и сейсмические средства обнаружения. Вибрационные средства обнаружения включают в себя трибоэлектрический кабель (вибрационный чувствительный элемент) и блок для подключения шлейфов сигнализации. Трибоэлектрический кабель прокладывается вдоль армированной колючей проволоки на всей протяженности забора. Сейсмические средства обнаружения по составу и функционалу аналогичны вибрационным с единственным отличием – сейсмический кабель закапывается в почву под забором.

Внутренний рубеж можно поделить на три ступени. Первая ступень включает в себя магнитоконтактные датчики (герконы), устанавливаемые на все входные группы (входные двери, калитки и прочее), датчики разбития стекла, извещатели охранные поверхностно-звуковые для защиты окон на открытие. Вторая ступень включает в себя извещатели охранные объемные для защиты объема помещений. Третья ступень заключается в установке магнитоконтактных датчиков в шкафы охранных систем. Все данные по охране объекта выводятся на АРМ охранной сигнализации, которая установлена в помещении охраны на проходной.

Система охранного телевидения (далее СОТ) обеспечивает визуальный контроль объекта и прилегающей к нему территории, визуальный контроль за действиями подразделений охраны при несении службы.

СОТ работает в автоматическом режиме и неавтоматизированном режиме (прямое видеонаблюдение) совместно с системой контроля и управления доступом и СОС. При получении сигнала от охранной сигнализации оператор получает изображения из охраняемой зоны.

В проекте применены IP-камеры купольного исполнения (для помещений с фальшпотолком), стационарные IP - видеокамеры с поддержкой функции моторизованного заднего фокуса и высокоскоростные поворотные купольные IP-видеокамеры. Камеры размещены по периметру объекта с частотой не более 40 метров, вдоль всех основных сооружений, а также внутри помещений, подлежащих наблюдению. Используемые IP-камеры телевизионного наблюдения, имеют поддержку стандартов PoE (Power over Ethernet (PoE) IEEE 802.3af/802.3at, тип 1-2, класс 1-4. Не более 30 Вт.). В целом, проектом предусматривается использование для каждой камеры максимум одного кабеля (питание + передача данных), аналогично для камеры со взрывозащищенными кожухами (речь идет о камерах, расположенных во взрывоопасных зонах). Информация от камер поступает на коммутаторы, которые связаны между собой посредством оптоволоконных линий связи. Вся информация записывается на сервера и хранится в течении 30 дней. Картинка с камер выводится на АРМ охранного телевидения, АРМ-ы включают в себя видеостену [1].

Система контроля и управления доступом (далее СКУД) предназначена для обеспечения санкционированного доступа и предотвращения несанкционированного доступа людей на объекты, в отдельные зоны, здания и помещения; учета времени пребывания персонала и посетителей в оборудованных СКУД зонах и помещениях; контроля соответствия времени пребывания персонала и посетителей в оборудованных СКУД зонах и помещениях установленным временным графикам.

Каждая входная группа оснащается двумя считывателями (на вход и на выход), кнопкой аварийного выхода, доводчиком и электромагнитным замком. Управление всем оборудованием каждой двери обеспечивается с помощью интерфейсных модулей, которые, в свою очередь обмениваются информацией с главным контроллером через коммутаторы [2].

Помимо защиты дверей в СКУД входит организация контрольно-пропускного пункта (далее КПП). В КПП предусмотрена установка полноростового турникета, который управляется с помощью СКУД, а также с помощью кнопки на посту охраны.

Система охранного освещения объекта (далее СОО) предназначена для обеспечения необходимых условий видимости ограждения территории, зоны внешней территории, прилегающей к объекту, и троп пешеходов (караула), мест несения службы подразделений охраны; для обеспечения выполнения СОТ своих функций в темное время суток.

СОО обеспечивает возможность автоматического включения светильников основного охранного освещения при снижении уровня естественной освещенности ниже заданного порогового уровня и выключения при превышении данного порога. Также данная система имеет два режима работы (дежурный и тревожный). Как правило, такая интеграция обеспечивается использованием готовых комплексных решений под ключ которые включают в себя контроллеры и т.д. Но такие решения обладают слишком большим функционалом, который в нашем случае не требуется и было принято решение строить систему следующим образом: охранные светильники имеют диммируемые драйверы, сигнал от охранной сигнализации приходит на релейный блок, который замыканием своих контактов подаёт питание на драйверы светильников: либо 5 вольт, либо 10 В (такое специфическое напряжение получаем с помощью понимающих DC/DC преобразователей). Таким образом, светильники горят либо на 50 % либо на 100 % (дежурный и тревожный режимы) мощности. Включение и отключение светильников производится либо в ручном режиме (с помощью кнопки), либо в автоматическом (сумеречное реле). В обоих случаях управляющий сигнал подаётся на катушки контакторов, с помощью которых подаётся силовое питание на светильники.

### **Источники**

1. Рудич Д.Н., Бочаров А.Н. Разработка системы охранного телевидения для производства // Решетневские чтения. 2017. Т. 1. № 21-2. С. 276–278.

2. Антонов Ю.П., Тарасов С.Б. Архитектура системы контроля и управления доступом и её недостатки // Технологии гражданской безопасности. 2016. Т. 13, № 3. С. 56–59.



## РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ АСУ КЛИНИНГА СТАНОЧНОГО ЦЕХА

Д.М. Русин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

333ddesign@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Н. Богданов

В статье представлена концептуальная структура разрабатываемой мобильной роботизированной платформы и рассмотрены отдельные компоненты, позволяющие решать задачи клининга в небольшом производственном предприятии.

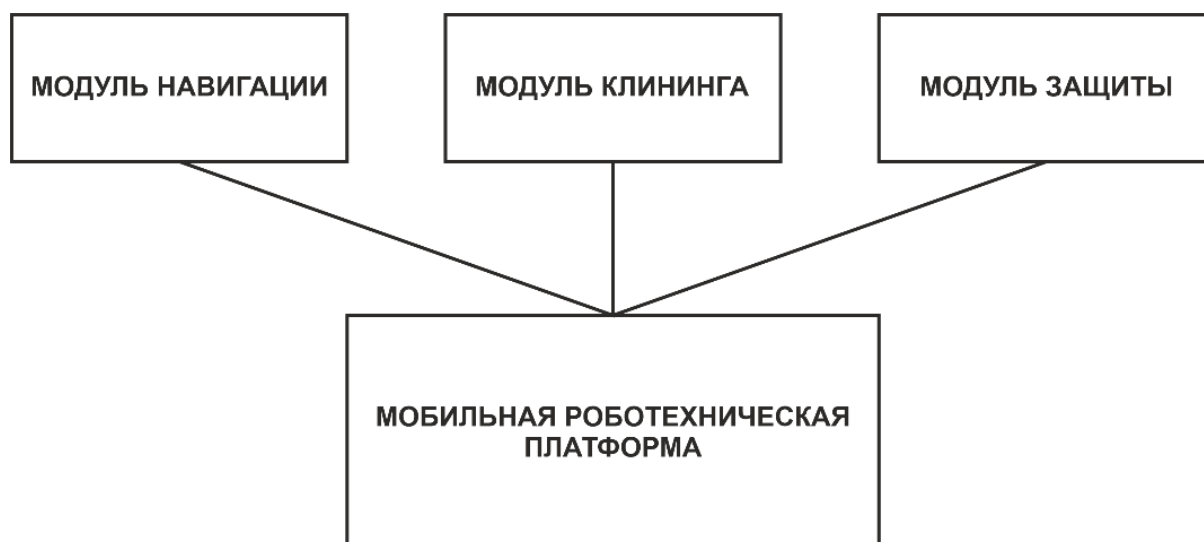
**Ключевые слова:** мобильная роботизированная платформа, автоматизированный клининг, роботизированная фабрика, техническое зрение.

Автоматизированные системы, обеспечивающие оптимальное состояние помещений, уже много лет используются и постоянно развиваются. Улучшаются, с точки зрения функциональности, простоты использования, интеграции с другими устройствами и доступности, необходимые инструментальные средства для создания подобных систем – контроллеры и микроконтроллеры, датчики и двигатели, программное обеспечение.

Это способствовало развитию мобильных роботизированных систем. На производстве наиболее популярными роботами являются промышленные манипуляторы. Затем следуют логистические роботы, способные внести существенный вклад в эффективное функционирование промышленного предприятия.

В последние годы стали появляться роботы для контроля и поддержания заданного состояния помещения. К таким роботам можно отнести мобильные роботизированные клининговые платформы. Подобный роботизированный комплекс способен принести значительную пользу для небольшой производственной компании, не имеющей возможности содержать отдельный персонал для регулярной уборки помещений.

В рамках выполняемого проекта ведется разработка прототипа мобильной роботизированной платформы для автоматизированной системы управления клининга станочного цеха. Платформа состоит из трех основных модулей – модуль навигации, модуль клининга и модуль защиты (см. рисунок).



Структурная схема мобильной робототехнической платформы

Одной из важнейших задач при разработке прототипа является организация системы навигации. Клининговая роботизированная платформа будет управляться мини ПК, размещенным внутри корпуса, передвигаться с помощью электродвигателей и ориентироваться в пространстве с помощью датчиков и технического зрения. Аппаратная составляющая модуля навигации содержит мини-ПК Raspberry NUC Pi 3 Model B+, камеру Zero W 2.8мм IR 1080, инфракрасные модули ночного видения. Для определения разметки, а также сигнализирующих знаков используется библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым кодом – OpenCV [1]. Процесс распознавания разметки и сигнализирующих знаков осуществляется на основе технологий искусственного интеллекта и состоит из 3-х этапов: сбор данных, обучение, применение [2–4].

Система клининга включает в себя турбину пылесоса, бункер для мусора и пыли, систему очистки воздуха. Также платформа включает в себя систему защиты для экстренной остановки, в случае обнаружения препятствия на пути следования.

В настоящее время активно внедряются и разрабатываются новые роботизированные комплексы контроля и поддержания состояния помещения. Например, робот «Sweep XL» от производителя FYBOTS, «NEO 2» от AVIDBOTS. Ведущие разработчики подобных систем находятся за границей. Подобная ситуация характерна и для роботов-пылесосов. В число крупнейших производителей роботов-пылесосов входят iRobot Corporation (США), Ecovacs Robotics Co., Ltd. (Китай), Dyson Limited (Великобритания), Xiaomi Corporation (Китай), Samsung Electronics Co Ltd (Южная Корея), Beijing Roborock Technology (Китай), Anker Innovations Technology (Китай), Neato Robotics (США), Nilfisk Holding A/S (Дания), LG Electronics (Южная Корея), Cecotec Innovaciones S.L. (Испания), Sharp Corporation (США), Panasonic Corporation (Япония).

В текущей ситуации актуальность проекта создания отечественного роботизированного решения вызвана в том числе и необходимостью импортозамещения. Что представляется важным для работ по созданию отечественных роботизированных фабрик.

### **Источники**

1. Войтович И.Д., Корсунский В.М. Интеллектуальные сенсоры: учеб. пособие. М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. С. 51–53.

2. Беркаев А.Р., Ненашев А.А., Ключиков А.В. Разработка системы локализации и позиционирования мобильного робота // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. 2020. Т. 12-3. С 152-157.

3. Ведерников М.Ю. Робот-погрузчик. Разработка и моделирование движения на территории склада // Молодежная Наука Сибирского Региона: Труды XXIII Межвуз. науч.-практ. студен. Конф. КрИЖТ ИрГУПС, в 2-х т. 2019. С. 47-52.4. Thrun S. [et al.] An Efficient Solution to the Simultaneous Localization And Mapping Problem with Unknown Data Association // Journal of Machine Learning Research, 2004.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПТИЦЕФАБРИКИ НА БАЗЕ УСТРОЙСТВА STZ6

Д.Г. Сабанцев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

dima.sabantsev@yandex.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.Р. Сафин

В статье предложена замена электронного блока устройства оглушения на сетевое устройство управления STZ6, которое приведет к автоматизации технологического процесса птицефабрики.

**Ключевые слова:** автоматизация, технологический процесс, устройство оглушения, автоматическое сетевое устройство, контроллер параметров.

Автоматизация технологического процесса позволяет контролировать весь технологический процесс птицефабрики и все важные технологические параметры, фиксирует и устраняет отклонения от нормы [1].

Устройство оглушения (рис. 1) состоит из заполненной водой ванны 1. Ванна подключена к электронному блоку, который подает напряжение оглушения.

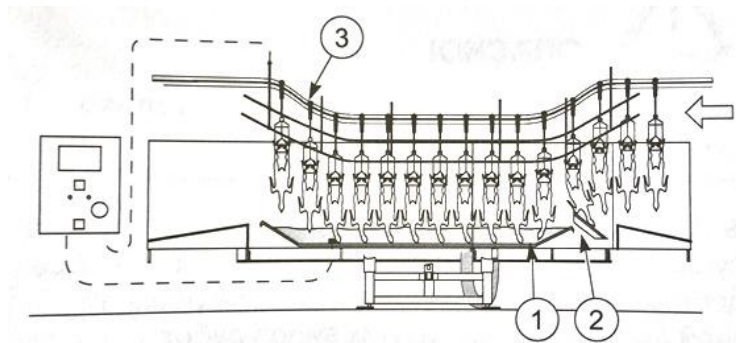


Рис. 1. Описание технологического процесса

Изолированная приемная пластина 2 отделяет птиц на входе в устройство оглушения от птиц, находящихся в ванне, что позволяет предотвратить непреднамеренной удар током. Голова птицы транспортируется через воду. Электрический ток проходит через воду и птицу к заземленным подвескам, что приводит к оглушению птицы. На выходной стороне водяной ванны подвески движутся по восходящему участку конвейера 3. На этом участке конвейера птицы на подвесках выходят из воды и перестают подвергаться воздействию напряжения [2].

Для автоматизации данного технологического процесса предлагается замена электронного блока на устройство STZ6.

Устройство STZ 6 (рис. 2) представляет собой автоматическое сетевое устройство с разделительным трансформатором с электронной системой измерения и управления, а также с контроллером параметров убоя PIG820 и регистратором параметров глушения.

Щит управления представляет с собой герметичную коробку. Коробка имеет крепление для установки на месте использования.

На боковой стенке щита управления имеется розетка питания со специальным штифтом.

На наружных дверцах блока питания:

- кнопка включения/выключения;
- индикатор глушения – красный, индикатор тревоги – желтый;
- цифровой дисплей глухого напряжения, глухого тока и частоты;
- контроллер параметров убоя PIG820 и регистратор параметров глушения;
- смотровое окно со слотом для SD-карты и слотом для предохранителя.

Устройство автоматически измеряет сопротивление и на основе рекомендаций, содержащихся в параметрах, установленных в контроллере параметров убоя PIG820, выбирает в режиме реального времени (во время убоя) соответствующие значения тока, чтобы выполнить правильный цикл глушения.

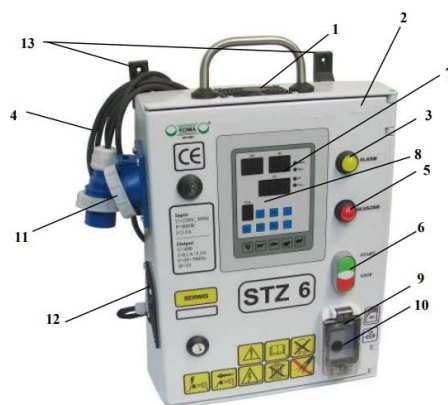


Рис. 2. Щит управления STZ 6:

- 1 – вентилятор; 2 – корпус IP55; 3 – светодиод 20 мм/24 В; 4 – кабель питания H05RR-F 3x1; 5 – LED 20 мм/24В (красный); 6 – кнопка запуска / останова типа SP 22; 7 – дисплеи напряжения, тока и частоты; 8 – консоль управления; 9 – слот для карт памяти SD; 10 – гнездо с плавким предохранителем; 11 – специальный разъем 16 А; 12 – крышка воздухозаборника; 13 – крепежные крючки

Контроллер параметров убоя PIG820, используемый в устройстве, работает в режимах измерения напряжения, тока и настройки параметров убоя.

Записывающее устройство предварительно установлено в глухом устройстве STZ 6.

Технические характеристики устройства STZ6 представлены в таблице.

Технические характеристики щита управления STZ6

Питающее напряжение	230 В
Частота	50 Гц
Выходное напряжение	< 400 В
Частота оглушения	50–700 Гц
Выходной ток	0,02–2,5 А
Масса щита управления	15,0 кг
Габаритные размеры щита управления	480x365x205 мм

Во время убоя регистратор измеряет электрические параметры, связанные с забоем, и сохраняет эти значения на карту памяти SDHC, вставленную в слот регистратора.

Регистрация параметров глушения начинается при включении устройства STZ 6 (начало глушения), когда ток превышает 0,2 А. Если ток исчезает в менее чем за 1 сек, то собранные параметры стираются и не регистрируются. Если ток будет превышать значение 0,4 А и длиться непрерывно более 1 с, он будет сохранен на карте памяти.

Значения параметров глушения записываются на карту SDHC в файле с именем chicklog.csv в текстовом виде. Каждая строка в записи означает 1 цикл измерения задается параметром trEJ (период регистрации отсчитывается в секундах) и показывает средние значения тока глушения, измеренные во время этого цикла [3].

### Источники

1. Бородин И.Ф., Недилько Н.М. Автоматизация технологических процессов. М.: Агропромиздат. 1986. С. 10.
2. Воробьев В.А. Электрификация и автоматизация сельскохозяйственного производства. М.: 2005. С. 123-130.
3. Бородин И.Ф., Судник Ю.А. Автоматизация технологических процессов. М.: КолосС, 2004. С. 52-60.

## ВЕРХНИЙ УРОВЕНЬ НА ПРИМЕРЕ АСУ ПЕЧИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА НЕФТИ В TRACE MODE

Р.Д. Садыков<sup>1</sup>, А.С. Марченко<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>rsa00821@gmail.com, <sup>2</sup>kete-chan@mail.ru

В тезисе рассматривается верхний уровень на примере АСУ печи предварительного подогрева нефти в SCADA-системе TRACE MODE 6, который включает в себя расстановку объектов и их анимированное взаимодействие на мнемосхеме.

**Ключевые слова:** верхний уровень, автоматизация, управление, SCADA-система, мнемосхема.

Создание АСУ ТП является современным решением для повышения надёжности и эффективности производства. Проблема оперативного получения информации, которая поступает от систем телемеханики, сбора и передачи информации АСУ ТП решается диспетчеризацией. Однако возникает необходимость оперативного отображения, структурирования и обработки информации для оператора, получаемой с датчиков, исполнительных механизмов и других объектов системы [1].

Для решения данной проблемы существуют SCADA-системы (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных) – программный комплекс, используемый на верхних уровнях автоматизации, обеспечивающий удобный и понятный интерфейс для человека [1]. Это также необходимо для обеспечения комфортного управления оператором АСУ ТП. Понятие SCADA-система содержит следующее:

1. Комплекс программ для разработки программного обеспечения систем управления технологическим оборудованием.

2. Программно-технический комплекс систем управления технологическими процессами, реализующий функции сбора, обработки и анализа данных в режиме реального времени [1].

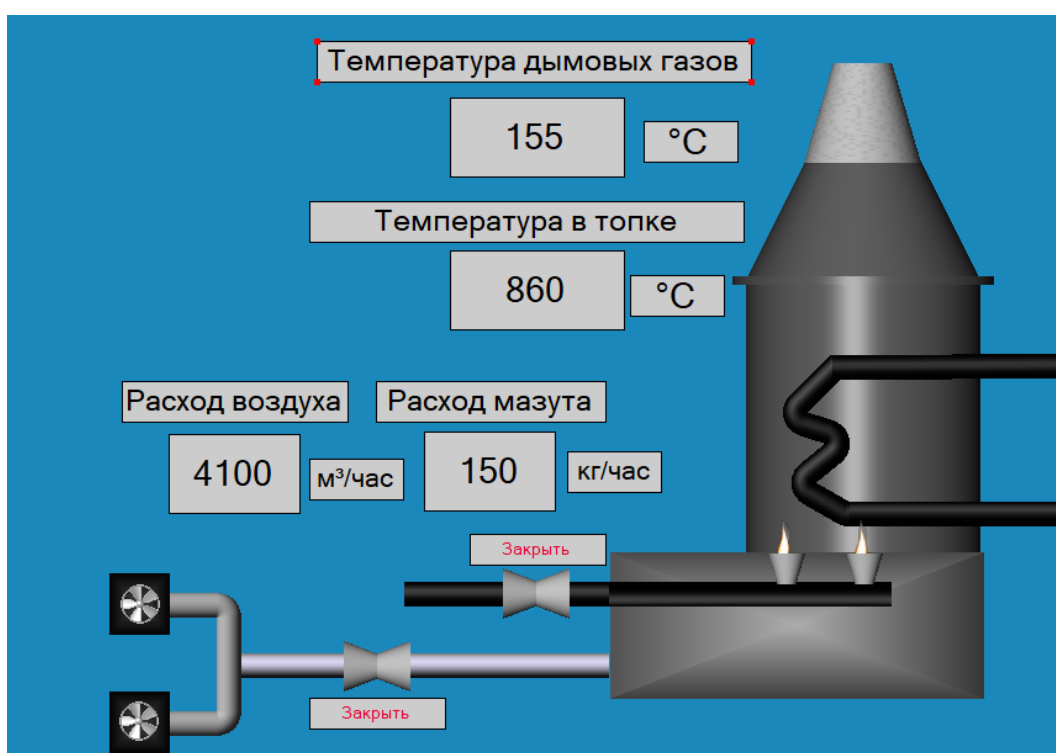
На данный момент существует множество зарубежных и отечественных SCADA-систем, однако остановимся на тех примерах, которые популярны в России. К наиболее популярным зарубежным SCADA относится:

InTouch (Wonderware, США); RSView32 (Rockwell Automation, США);

Genesis64 (Iconics, США); WinCC (Siemens, Германия); Vijeo Citect (Schneider Electric, Франция).

Наиболее популярные отечественные модели SCADA: MasterSCADA (ИнСАР, Москва); TRACE MODE (AdAstra, Москва); Круг2000 (Круг, Пенза) [2].

В разработке верхнего уровня будет использована SCADA TRACE MODE 6. Перед нами поставлена задача составить мнемосхему печи предварительного подогрева нефти.



Мнемосхема печи предварительного подогрева нефти

Для создания данной мнемосхемы (см. рисунок) нам потребуется создать компонент «Экран». В дальнейшем нужно будет разобрать схему оборудования печи, и с помощью инструмента «Объёмные фигуры» создаём модель печи, придаём этим фигурам материал «Хром» для отличия этих объектов от остальных. Создаём трубы нефти и мазута, придавая им материал любого чёрного цвета, создаём форсунки, с анимацией поджога. Также необходимо обозначить на схеме трубы для потока воздуха, добавляя анимированные вентиляторы к ним. Добавляем задвижки и необходимые им кнопки для управления с помощью элемента «Текст», которые в дальнейшем необходимо будет связать с аргументами программы.



Для индикации измеряемых параметров создаём несколько элементов «Текст», такие как «Расход воздуха», «Температура в топке» и т.д. (рис. 1). Связываем их с аргументами программы. Программу составляем, используя блочный язык программирования FBD с виртуализацией технического процесса.

Мы успешно смогли составить мнемосхему в TRACE MODE 6.

### **Источники**

1. Гордиенко Е.П., Гордиенко С.Н. Системы SCADA и анализ их применения // Транспорт: наука, образование, производство («Транспорт-2019»). 2019. С. 10-14.

2. Константинов Ю.В. [и др.] Анализ современных SCADA-систем // Наука ЮУрГУ: матер. 67-й науч. конф. Секции технических наук. 2015. С. 1734.

УДК 628.1:621.65.03

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПЕРЕКАЧКИ ВОДЫ НАСОСОМ**

Д.Д. Скворцов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

danil.skvortsov12@mail.ru

Науч. рук. ст. преп. А.С. Марченко

В статье рассмотрены аспекты современных систем автоматического управления технологическими процессами, отдельное внимание уделено вопросу автоматизации перекачки, откачки воды, ее актуальности и особенностей. Представлен состав и назначение элементов типовой системы перекачки, откачки воды. Описаны особенности работы таких систем и требования к ним, обоснованные технологией производства на объекте, санитарными нормами и требованиями пожарной безопасности.

**Ключевые слова:** система управления, перекачка воды, водоснабжение, автоматизация, безопасность.

Процесс перекачки воды является неотъемлемой частью жизнедеятельности человечества. Для этого строятся специализированные насосные станции.

На таких насосных станциях устанавливались пневматические насосы с большим потреблением мощности, которые при любых авариях требовали человеческого вмешательства. Поэтому было принято решение автоматизировать данный процесс.

Автоматизация перекачки воды с помощью насоса — это перевод управления процессом с ручного режима на автоматический, внедрение систем контроля, визуализации и управления, частично или полностью освобождающих человека от участия в процессе перекачки.

Главными целями автоматизации систем являются: быстрое действие на разные ситуации, сокращение эксплуатационных затрат, также затрат на электроэнергию, сокращение персонала и улучшение условий труда.

Основной функцией систем и сооружений перекачки воды является повышение надежности работы сооружений путем контроля состояния оборудования и автоматической проверки достоверности информации и стабильности работы сооружений. Оперативное обнаружение способствует локализации и ликвидации аварий и сбоев в работе технологического оборудования. Обеспечение хранения и оперативной обработки данных и представление их в наиболее информативном виде на всех уровнях управления; анализ данных и выработка управляющих воздействий и рекомендаций производственному персоналу координирует управление технологическими процессами, а автоматизация подготовки и обработки документов позволяет ускорять документооборот [1].

Проанализировав систему управления, существующую в настоящее время выявили, что некоторые части производства нужно модернизировать и совершенствовать.

Применяемые датчики расхода, давления, температуры имеют низкую надежность измерения, не в полной степени удовлетворяют требованиям технологического процесса, и как следствие, происходит большое количество сбоев в работе. Чтобы исправить эти недочеты нужно использовать более современные и высокоточные датчики.

Для обеспечения устойчивой работы производства, повышения эффективности управления технологическим процессом (ТП), а также повышения уровня безопасности ТП было предложено внедрить систему автоматизации на базе средств микропроцессорной и вычислительной техники, которые обеспечивают высокую надежность и скорость обработки информации.

А также организовать станцию оператора, которая будет выполнять функции визуализации, хранения и обработки информации.

Установка автоматизации приведет к сокращению персонала. Контуры регулирования будут обрабатываться автоматически, что приведет к уменьшению аварийных ситуаций и благоприятно скажется на экономической эффективности производства [2].

Основная цель использования АСУТП - повышение качества ведения технологического процесса и его экономической эффективности. Повышение качества ведения процесса достигнуто за счет замены ручного режима работы на автоматический, централизованного анализа изменения параметров процесса, аналогового регулирования параметров процесса, выполнения блокировок, а также программно-логического управления процессом в целом. Показатели экономической эффективности определяются уменьшением энергозатрат, сокращением персонала, освобождением рабочих от ручного труда, мониторинговым контролем состояния объекта, программным обеспечением.

Структура предлагаемой АСУТП является трехуровневой.

Нижний уровень – совокупность технических средств «полевого уровня».

Средний уровень – это подсистема контроллеров.

Верхний уровень – рабочие станции оператора-технолога и инженерные станции, объединенные между собой информационной сетью.

Текущие значения параметров процесса, состояние технологического оборудования и ряда исполнительных механизмов фиксируются датчиками, представляющими нижний уровень системы автоматизации. Сигналы с датчиков – аналоговые и дискретные поступают на соответствующий модули ввода аналоговых и дискретных сигналов станции, входящей в состав контроллера. В контроллере сигнал обрабатывается и выдается на станцию оператора для визуализации и архивации. Непрерывное управление и регулирование, управление двигателями насосов осуществляется с помощью сигналов, поступающих с аналоговых и дискретных выходов контроллера.

Для соединения контроллера и станции оператора используется коммутатор Ethernet – маршрутизатор.

Для взрывоопасных объектов обязательным является резервирование [3].

Таким образом, система автоматического управления технологическим процессом перекачки воды насосом повысит эффективность управления технологическим процессом, снизит количество аварий, а значит уменьшатся экономические затраты.

## Источники

1. Жарова Е.С., Кулигина Н.О. Автоматизация насосной станции перекачки очищенных сточных вод и циркуляции избыточного ила // Современные инновации в науке и технике: сб. науч. трудов 9-й Всерос. науч.-техн. конф. с межд. участием. 2019. С. 98-103.

2. Муравьева Е.А., Коченков А.В. Разработка интеллектуальной системы управления процессом подготовки и перекачки воды // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2021. Т. 13. №4. С. 252-258.

3. Клюев А.С., Глазов Б.В., Дубровский А.Х., Клюев А.А. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие; под ред. А. С. Клюева. М: Энергоатомиздат, 1990. 464 с.

УДК 004.9

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ В КОНТЕЙНЕРЕ ДЛЯ МАЙНИНГА С МОНИТОРИНГОМ БЕЗОПАСНОСТИ

М.О. Уткин<sup>1</sup>, Н.С. Россамахина<sup>2</sup>  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1</sup>209maks@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. К.Х. Гильфанов, канд. техн. наук, доц. М.А. Сафин

В данной работе рассматривается создание системы управления климатом в помещении контейнера для майнинга. Дополнительно, описывается система видеонаблюдения за периметром и контроль доступа проектируемой криптофермы.

**Ключевые слова:** АСУ, майнинг, система охлаждения, криптовалюта, малая автоматизация, ПЛК, НПО «ОВЕН», контейнер для майнинга, Asics S19.

«Майнинг», или же от английского «mining» (добыча полезных ископаемых) – это процесс «добычи» криптовалюты, виртуальных денег, эмиссия которых никем не регулируется. Процесс работает благодаря технологии блокчейн – цепочке блоков, каждый из которых хранит информацию об отдельной транзакции. Работоспособность блокчейна напрямую зависит от вычислительных мощностей компьютеров, подключенных к цепочке [1].

Одной из основных проблем при обслуживании и эксплуатации оборудования майнинга является охлаждение и отвод тепла, получаемого от работающего оборудования. Для эффективного охлаждения оборудования применяют два основных технических решения:

- 1) воздушное охлаждение оборудования;
- 2) жидкостное охлаждение оборудования.

Воздушное охлаждение осуществляется посредством прямого нагнетания охлажденного воздуха в рабочую область. При воздушном охлаждении мы имеем ограничение по скорости воздуха в вентилируемом помещении. Согласно [2], оно должно составлять 0,2...0,3 м/с. Однако, с отменой данного стандарта в 2020 г., позволило отечественным майнерам без каких-либо ограничений устанавливать любое оборудование для охлаждения помещений криптоферм и увеличивать воздухообмен в помещении от 2,5 м/с и более.

При использовании жидкостного охлаждения оборудование размещают в специальных герметичных ваннах, заполненных диэлектрической (имерсионной) жидкостью [3]. Ванны в свою очередь соединяются с внешним теплообменником, где происходит охлаждение теплоносителя.

Рассмотрим типовое решение для системы управления доступа и контроля микроклимата криптофермы контейнерного исполнения, имеющей в своем составе 150 шт. Asics S19 с общим электропотреблением 457,5 кВт. Учитывая, что КПД электронных устройств близко к 100 %, примем потребляемую мощность оборудования за мощность тепловыделения. Охлаждение, применяемое нами в проекте – воздушное.

Система охлаждения и вентиляции, применяемая в проекте – приточно-вытяжная. Контейнер для майнинга делится на 2 части: холодная и горячая (см. рисунок) [4].

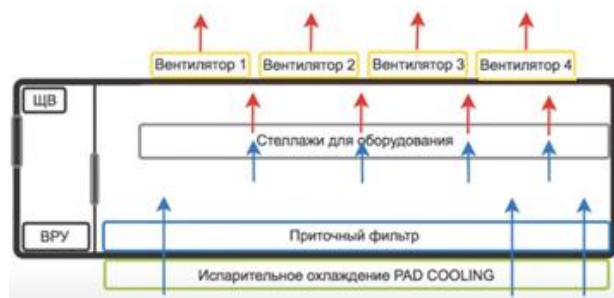


Схема охлаждения оборудования.

Для охлаждения блок-контейнера ШхВхГ 6,06×2,60×2,44 м будем использовать следующее оборудование, представленное в таблице.

#### Характеристики используемого оборудования

№	Марка	Кол-во
1	Датчик температуры ДТС125М.И	9
2	Преобразователь дифференциального давления, PEL 2500-N	1
3	Преобразователь частоты CONTROL-A310 220В 1Ф 0,75кВт 4А IEK	4
4	Осевой вентилятор New farm AF-1000 (750 Вт)	4
5	Электропривод DA02N220PI с регулированием (4-20 мА) 230 В	2
6	Программируемое реле ОБЕН. ПР200-24.4.2.0 (24VDC, 8xDI(24), 4xAI, 8xDO(P), 2xAO(Y), 2xRS-485, HMI)	1
7	Модуль расширения ПРМ-24.3 (AIx4, AOx2)	3
8	Блок питания EKF 24В DRP-240W-24 PROxima SQdrp-240w-24	1
9	GSM - система EctoControl v3.3 – система дистанционного мониторинга и управления с помощью телефона и ПК.	1
10	Источник бесперебойного питания Энергия ИБП 1200 E0201-0024	1
11	Извещатель охранный магнитоконтактный ИО-102-2 (СМК-1)	1
12	Камера видеонаблюдения IP HIWATCH DS-I202 (C)	6
13	Коммутатор HiWatch DS-S908P(B) 9x100Mb 8PoE 60W	1
14	Внешняя выносная антенна GSM GPRS 900/1800MHz, SMA, 3,0м, 5db. ES-ANCE-01	1
15	Шкаф управления 600x600x1800 мм	1

Контроль за состоянием контейнера для майнинга осуществляется посредством программируемого реле ПР200 от НПО «ОБЕН», датчиков температуры и частотных преобразователей. Контроллер считывает данные по 4–20 мА с датчиков температуры холодной и горячей части контейнера, а затем задает уставку для частотных преобразователей по АО 4–20 мА. При работе в зимний период происходит подмешивание воздуха из горячей части в область холодной части, за счет открытия одного или двух вентиляционных клапанов для обеспечения оптимальной температурной среды в холодном коридоре от 15 до 25 °С, что очень важно для работы оборудования. Система видеонаблюдения строится на базе видеокамер модели IP HIWATCH DS-I202, обеспечивающих визуальный контроль периметра и контроль работы оборудования внутри контейнера для майнинга.

В данной работе Мы спроектировали автоматическую систему управления микроклиматом в контейнере для майнинга, а также разработали видеонаблюдение за объектом и контроль доступа в помещение контейнера.

## Источники

1. М – майнинг: криптовалюта как полезное ископаемое. РБК. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/education/6163fa3f9a79472472bca0d3> (дата обращения 12.02.2022).

2. СН 512-78. Инструкция по проектированию зданий и помещений для электронно-вычислительных машин.

3. Каталог продукции. Иммерсионные жидкости. MineCool [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://minecool.ru/emkosti> (дата обращения 15.02.2022).

4. Контейнер для майнинга на 550 asic s9 и на 1320 видеокарт. СпецЭлектроСтрой. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=D6lsXPWPbfc> (дата обращения 20.02.2022).

УДК 657.1:004.35

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СКЛАДА

М.А. Уткина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

m.utkina@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. В.А. Данилов

В статье рассматривается история, развитие, сферы применения, преимущества и недостатки RFID-технологий. Пример внедрения автоматизации склада на основе технологии RFID. Представлена сравнительная таблица RFID-технологии и штрих-кодирования.

**Ключевые слова:** RFID-технология, штрих-кодирование, метка, идентификация, система хранения, склад, автоматизация.

Технология RFID существует с 1940-х гг. XX в., но лишь в последние годы развитие технологий позволило рассмотреть возможность их практического применения [1]. RFID все еще находится в стадии становления, хотя имеет большие перспективы.

RFID-метки – пассивные устройства, которые не требуют источника питания и физического контакта для передачи уникального кода. Для считывания информации используются специальные устройства чтения (ридеры), которые передают полученную информацию в различные программные приложения для обработки [2]. Дальность и скорость считывания зависят от рабочей частоты системы. Считывание может происходить до 1000 тэгов в секунду.

Целью работы является изготовление действующего макета системы хранения и контроля доступа на микроконтроллерном управлении. Метка может быть выполнена в виде брелка, браслета, пластиковой карточки, наклейки. Также следует отметить, что форма носителя никак не влияет на свойства чипа. Если метка окажется в зоне охвата ридера, считывание произойдет автоматически, и информация передастся в базу данных [3]. Для открытия двери будет использоваться пластиковая карта, а на предмете будет наклейка. Обе метки должны иметь разные частоты, иначе возможно слияние информации, и, например, данные с карты поступят на считыватель метки товара, и наоборот. Управление будет осуществляться через панель управления. Принцип работы можно увидеть на рисунке.



Принцип работы RFID-системы

Проверка, в рамках которой устанавливается соответствие между фактическим наличием и данными по документам, будет проходить быстрее, так как радиоволны проходят через препятствия. Применение RFID-меток сокращает количество ошибок, вызванных человеческим фактором [3]. Вложения в автоматизацию склада быстро окупятся.

Сравнивая RFID и штрих-кодирование по наиболее важным характеристикам, можно сделать вывод о том, что RFID-технология способна считывать скрытые метки и одновременно идентифицировать до 200 меток в секунду, а штрих-кодирование возможно только при прямой видимости и может считать тэги только последовательно. Дальность регистрации данных отличается в 25 раз. Также следует отметить, что внедрение RFID-технологии дороже.



RFID – это новый инструмент, способный решить многие проблемы, которые не может решить технология штрихового кодирования [2]. Технология радиочастотной идентификации может применяться в областях, недоступных для штрих-кодов. Отметим, что две технологии имеют разные функциональные возможности и сферы применения. С развитием RFID эта технология может привести к развитию программных и ориентированных на автоматизацию решения задач систем, которые сейчас считаются трудным или даже невозможным.

### Источники

1. Анализ применения технологии RFID для задач управления поставками и складскими ресурсами [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.trafficease.ru/gtcs-829-1.html> (дата обращения 02.03.2022)

2. Анализ перспектив применения технологии RFID для задач управления поставками и складскими ресурсами [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-perspektiv-primeneniya-tehnologii-rfid-dlya-zadach-upravleniya-postavkami-i-skladskimi-resursami> (дата обращения 02.03.2022).

3. Как RFID технология помогает автоматизировать склад? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mertech.ru/blog/vse-o-tds-terminaly-sbora-dannyh/kak-rfid-tehnologija-pomogaet-avtomatizirovat-sklad/> (дата обращения 02.03.2022).

УДК 658.512.22

## АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В УСЛОВИЯХ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.А. Фатхутдинов<sup>1</sup>, Д.В. Кинёв<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>fathutdinov000@mail.ru, <sup>2</sup>danil.kineff@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Н. Маслов

В данной статье представлена информация на тему управления технологическими процессами, а именно алгоритм управления в условиях мелкосерийного производства.

**Ключевые слова:** алгоритм управления, автоматизация технологической подготовки, мелкосерийное производство.

С каждым годом все большее количество машиностроительной продукции выпускается именно в условиях мелкосерийного производства, где наиболее заметна наибольшая трудоемкость этапа технологической подготовки производства, что приводит к снижению производительности и увеличению себестоимости продукции. Благодаря автоматизации и моделированию производственных процессов возможно снижение сложности технологической подготовки производства.

Алгоритм управления технологическими процессами повышает эффективность технологической подготовки продукции предприятий, работающих в условиях мелкосерийного производства. Первой командой алгоритма является проектирование и анализ технологических маршрутов обработки. Проектирование состоит из группового и модульного технологического процесса. Групповой технологический процесс подразумевает под собой проектирование сложной детали и проектирование расширенного маршрута для обработки сложной детали. Модульная технология включает в себя: конструктивные и технологические элементы, проектирование модуля технологического процесса и изготовление элементарной поверхности.

После проектирования и анализа происходит определение наилучшего варианта процесса. Он осуществляется с учетом качества продукции, а именно следующими параметрами: точность размеров поверхности и геометрических элементов, текстуры слоев, которые в основном характеризуются амплитудными параметрами шероховатости, переменные затраты, продолжительность производственного цикла и погрешность обработки для наиболее точного размера [1, 2].

Последней командой этого алгоритма является контроль и оперативное внесение изменений в производственный график. Контроль осуществляется за работой каждого агрегата технологического оборудования, также проводится мониторинг графика реализации производства и моделирование альтернативных вариантов процесса в случае сбоя в производственном процессе. Постановка новых производственных задач, реализовывается благодаря проведенным анализам [3].

Таким образом, разработанный алгоритм управления производства позволяет выбрать наиболее лучший вариант процесса из возможных, контролировать и оперативно корректировать производственный график на основе моделирования различных производственных сценариев, также он приводит к снижению трудоемкости и повышению эффективности технологической подготовки производства для предприятий, работающих в условиях мелкосерийного производства.

## Источники

1. Баранов А.А. Автоматизация оперативного планирования мелкосерийного машиностроительного производства: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. Владимир, 2010. 131 с.

2. Хрусталева И.Н., Любомудров С.А., Романов П.И. Автоматизация технологической подготовки единичного и мелкосерийного производства // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2018. Т. 24. № 1. С. 113–121.

3. Zhukov E L, Kozar I I and Kolodyazhniy D Yu 2016 Problems of Ensuring quality of a surface layer when producing components from hard-to-process heat resistant alloys Acta Metallurgica Slovaca 22(2) С. 128–132.

УДК 004.777

## СРАВНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ ГРАФИКОВ ПАРАМЕТРОВ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА КЛИЕНТСКОЙ СТОРОНЕ

А.А. Халимов<sup>1</sup>, Д.С. Крехов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, <sup>2</sup>ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа

<sup>1</sup>albert.xalimow@gmail.com, <sup>2</sup>krekhov98@bk.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. М.А. Сафин

В данной работе показан сравнительный анализ инструментов для отображения графиков параметров автоматических систем управления на клиентской стороне. Акцентировано внимание на количественных показателях в целях выявления верхнего предела возможности инструментов.

**Ключевые слова:** JavaScript, WebGL, SciChart.js, Chart.js, рендеринг графиков, параметры автоматических систем управления.

В современном мире большую часть информации передают и получают через интернет. Информация по форме представления разделяется на текстовую, числовую, графическую, звуковую и видеoinформацию [1].

В целях безопасности, браузер не может напрямую работать с памятью устройства, что несет за собой ряд ограничений, связанных со скоростью рендеринга полученных из интернета данных. В случае, если данные нужно отобразить графически, разработчики вынуждены прибегать к помощи различных библиотек, то есть готовых инструментов для работы с графиками [2].

Библиотеки, используемые для работы с графиками в браузере, делятся на два вида. Первые – это те, которые при отображении данных полностью изменяют свой DOM элемент [3]. Вторые – это те, которые используют Web-based Graphics Library (WebGL). WebGL исполняется как элемент HTML без установки плагинов, он реализован прямо в браузере. Основные компании-разработчики браузеров Apple (Safari), Google (Chrome), Microsoft (Edge) и Mozilla (Firefox) являются членами Khronos и реализуют WebGL [4]. За счёт использования низкоуровневых средств поддержки WebGL выполняется на графической плате пользователя.

В данной работе для сравнительного анализа было выбрано по одному представителю из каждого вида библиотек Chart.js и SciChart.js.

Библиотека SciChart.js работает с WebGL, что дает ей мощный инструмент для работы с графиками параметров автоматических систем управления на клиентской стороне. Преимуществами использования этой библиотеки являются: экстремальная производительность в реальном времени, богатые интерактивные диаграммы, аннотации и маркеры, выбор точки данных, неограниченная ось X и Y, и т.д. [5]. Недостатком этой библиотеки является то, что она платная. Цена 1500\$ на разработчика в год.

Библиотека Chart.js работает напрямую с DOM API и является продуктом с открытым исходным кодом, то есть бесплатной, что влечет за собой следующие особенности: мало возможностей из «коробки», дополнительные трудозатраты ИТ-специалистов на подключение нового функционала. Основным недостатком является скорость и ограниченность визуализации данных.

Для сравнительного анализа были проведены тесты инструментов для отображения графиков параметров автоматических систем управления на клиентской стороне. Результаты тестов приведены в таблице.

Результаты тестов

Количество точек	Время рендеринга Chart.js, мс	Время рендеринга SciChart.js, мс
10	20	10
100	21	10
1000	52	12
10000	1303	13
100000	–	36
1000000	–	170
10000000	–	1300

Проведенный сравнительный анализ показал, что Chart.js не способна отрисовать графики с количеством точек больше 10 000, для 1 000 точек SciChart.js проводит рендер в 10 раз быстрее, а предел перманентного отображения SciChart.js составляет 10 000 000 точек.

Таким образом, можно сделать вывод, что библиотеки, работающие с WebGL можно и нужно использовать в проектах, где необходимо визуализировать большой объем данных или время отображения критически важно для пользователя.

### Источники

1. Захаров В.П. Информационные системы. СПб.: СПб. гос университет, 2002. 188 с.

2. 10 лучших JavaScript библиотек для визуализации данных на графиках и диаграммах [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/457946/> (дата обращения 02.03.22).

3. Simple yet flexible JavaScript charting for designers & developers [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.chartjs.org/docs/> (дата обращения 02.03.22).

4. The Industry's Foundation for High Performance Graphics [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.khronos.org/webgl/> (дата обращения 02.03.22).

5. SciChart.js Next Generation JavaScript Charts for Dynamic Interactive Web Apps [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.scichart.com/javascript-chart/> (дата обращения 02.03.22).

УДК 62-529, 614.8, 681.5

## РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Н.С. Шаронов<sup>1</sup>, Д.И. Шайхезадин<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>nik.sharonov.03@mail.ru, <sup>2</sup>Shajhezadin2013@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Н. Богданов

В статье приведены примеры мобильных роботов используемых для организации систем обеспечения безопасности. Представлены промежуточные результаты по разработке прототипа роботизированного мобильного комплекса с системой видеонаблюдения.

**Ключевые слова:** видеонаблюдение, обеспечение безопасности, автоматизация видеонаблюдения, мобильный робот.

Обеспечение безопасности мероприятий и объектов является неотъемлемой частью жизни современного общества. Системы видеонаблюдения уже давно используются для обеспечения безопасности [1-3]. С некоторого времени системы видеонаблюдения стали автоматизироваться. Можно выделить следующие основные направления автоматизации – движение камеры и видеообработка. Автоматизация движения камеры реализуется с помощью механизмов вращения камеры с целью увеличения контролируемой зоны. Возможно реализация вращения камеры на источник звука. Автоматизация видеообработки позволяет осуществить запуск записи или включение сигнализации в случае движения или распознавания изображения.

Но с развитием робототехники появилась возможность сделать видеонаблюдение мобильным [4]. Использование мобильных роботизированных комплексов для видеонаблюдения имеет большие преимущества перед классическим стационарным вариантом в случаях, когда необходимо разведать территорию с опасными для человека условиями или имеются значительные ограничения для установки и подключения камер.

Постоянное развитие микроэлектроники и повышение доступности технической информации поспособствовало началу разработок мобильных роботизированных комплексов с видеонаблюдением различными командами по всему миру.

Среди таких разработок можно выделить:

- Knightoscope K5, робот-охранник размером с человека;
- Cobalt Robotics, мобильный робот безопасности;
- Трал патруль, робот мобильного видеонаблюдения;
- Пластун, информационный разведывательный комплекс;
- Варан, мобильный робот для спасательных операций.

Данные роботизированные решения обладают рядом отличий. Например, Пластун имеет универсальные камеры для различных условий съемки [5]. Варан оснащен камерами с функцией распознавания предметов и имеется возможность установки манипулятора [6].

Нами разрабатывается прототип мобильной роботизированной платформы на Arduino с возможностью видеонаблюдения. На данный момент разработаны несколько вариантов мобильной платформы на Arduino (см. рисунок) с возможностью дистанционного управления по каналам Bluetooth и Wi-Fi. Данные мобильные платформы после модернизации и добавления дополнительных модулей могут использоваться для выполнения различных задач, в том числе экологических [7].



Разработанные мобильные платформы на Arduino

В рамках данного проекта также выполнена задача передачи видеоизображения с мини-камеры на мобильное устройство. В настоящее время решаются задачи совмещения энергообеспечения мобильной платформы и системы видеонаблюдения, организации вывода видеоизображения на компьютер, задания сценариев и траекторий движения, повышения проходимости в уличных условиях.

Развитие робототехники и имеющиеся в данной области разработки позволяют ожидать, что обеспечение безопасности объектов может в дальнейшем массово осуществляться с помощью автоматизированных систем мобильного видеонаблюдения.

Возможность встроить в мобильные роботизированные комплексы дополнительные датчики и манипуляторы значительно расширяет спектр их применения, в том числе для профилактики опасных ситуаций на производствах. Реализация функции видеонаблюдения в нашем экороботе также облегчит дистанционное управление при сборе мусора [7].

### **Источники**

1. Тур А.И., Кокоулин А.Н., Ахметзянов К.Р., Южаков А.А. Вопросы применения иерархических систем распознавания в системах видеонаблюдения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2020. № 34. С. 75-89.

2. Баранов М.Ю., Реснянский С.Г. Оценка внедрения на объекте системы противопожарной защиты, совмещенной с системами охраны и видеонаблюдения // Научный электронный журнал Меридиан. 2021. № 9(62). С. 33-35.

3. Абрамченко Е., Чирков Ю., Апросин К. Применение системы видеофиксации в составе систем технологического видеонаблюдения на объектах электроэнергетики // Энергоэнергия. Передача и распределение. 2019. № S1(12). С. 32-37.

4. Климов А.А., Конохов Е.В., Мышанский А.А., Пугачев П.Е. Мобильный робот для использования в системах видеонаблюдения // Матер. 54-й Межд. науч. студ. конф. МНСК-2016: Информационные технологии, Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2016. С. 94.

5. Информационный разведывательный комплекс «Пластун» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.bnti.ru/des.asp?itm=6326&tbl=02.03.05.&p=1> (дата обращения 03.03.2022).

6. Мобильный робототехнический комплекс «Варан» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://niism.bmstu.ru/otdelyi-nii-sm/sm4-6/mrk-«varan»> (дата обращения 3.03.2022).

7. Шаронов Н.С., Шайхезадин Д.И. Разработка прототипа мобильной платформы для экробота // XXV Всерос. асп.-маг. науч. семинар, посв. Дню энергетика: матер. конф. Казань: КГЭУ, 2022. Т. 2. С. 324-327.



## Секция 6. ТЕПЛОФИЗИКА

УДК 66.045.53

### ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАДИРНИ С НАКЛОННЫМИ ГОФРИРОВАННЫМИ ВСТАВКАМИ

И.А. Бикташев<sup>1</sup>, К.С. Моисеева<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>biktashev@mail.ru

Науч. рук. асс. В.Э. Зинуров

В работе рассмотрен принцип действия вентиляторной градирни. В данной градирне по сравнению с классической моделью создается более равномерное распределение контактирующих фаз по сечению аппарата за счет установки гофрированных пластин с отверстиями на выступах гофр. Численные исследования двухфазного взаимодействия фаз показывают практически полное перемешивание в поперечном сечении аппарата при относительно небольших скоростях движения воздуха.

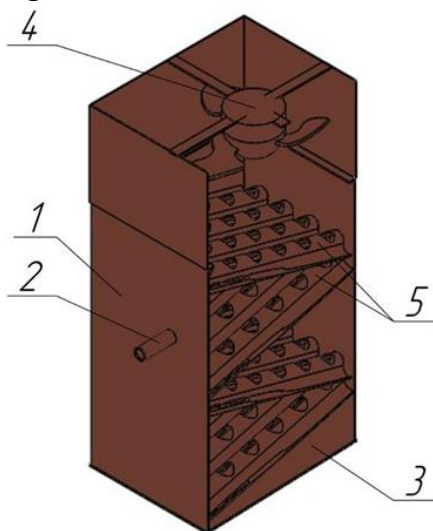
**Ключевые слова:** градирня, вентиляторная градирня, оборотная вода, теплоноситель, охлаждение теплоносителя.

Важной задачей на объектах тепловой энергетики является охлаждение оборотной воды [1]. Данная задача решается с помощью градирен [2]. В работе проводится исследование вентиляторной градирни с гофрированными вставками.

В различных других работах предлагаются иные различные сепарационные элементы, которые способствуют интенсификации охлаждения воды [3].

Вентиляторная градирня содержит корпус 1 с установленным в нем оросителем, представляющим собой наклонные гофрированные пластины 5 со сливными отверстиями круглой формы, расположенными на выступах гофр, коллектор подвода жидкости 2, вентилятор 4 и бак для сбора жидкости 3, расположенный под нижней гофрированной пластиной 5. Ввод горячей воды происходит через круглое отверстие в верхней части боковой стенки корпуса 1 по центру между первой и второй гофрированными пластинами 5 (см. рисунок).

Вода через коллектор подвода жидкости 2, выполненный в стенке корпуса 1, распределяется по гофрированной пластине 5. Таким образом, поток жидкости прямо направляется во впадины гофрированных пластин 5 в направлении сверху вниз, из одной части аппарата плавно переходит в другую часть. В это же время одна часть жидкости проваливается по направлению вниз, двигаясь постепенно вдоль поверхности стенки корпуса, другая часть жидкости течет на ниже находящуюся гофрированную пластину 5. Стекающая пленка воды соприкасается с потоком восходящего воздуха, который создается вентилятором 4. На выступах данных гофрированных пластин 5 сделаны отверстия для прохода охлаждающего воздуха. Излишки воды, плавно проваливаясь в эти отверстия и, контактируя с воздухом, равномерно распределяются в объеме оросителя. Воздух проходит через круглые отверстия пластины, разбрызгивая в разные стороны капли воды, таким образом, происходит быстрое распыление жидкости по всему объему оросителя. Следует отметить, что пленка жидкости, которая стекает по гофрированным вставкам 5, постепенно разрушается, так как вступает в непосредственный контакт с другими каплями жидкости и струями. При этом создается хорошая поверхность контакта фаз, периодически обновляющаяся. Охлажденная вода с поверхности гофрированных пластин 5 стекает в бак, предназначенный для сбора жидкости 3.



Трехмерное изображение вентиляторной градирни:

1 – прямоугольный корпус устройства; 2 – входной патрубок для жидкости; 3 – дно градирни; 4 – вентиляторный блок; 5 – гофрированные вставки

В предлагаемой вентиляторной испарительной градирне по сравнению с классической моделью создается более равномерное распределение контактирующих фаз по сечению аппарата за счет установки гофрированных пластин с отверстиями на выступах гофр.

Численные исследования двухфазного взаимодействия фаз показывают практически полное перемешивание в поперечном сечении аппарата при относительно небольших скоростях движения воздуха. Это говорит о создании высокой удельной поверхности контакта фаз, влияющей на эффективность процесса охлаждения воды.

Достоинствами вентиляторной градирни являются легкость в использовании на промышленных предприятиях, низкие эксплуатационные затраты.

### **Источники**

1. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Гайнатуллин Р.Р., Латыпов Д.Н., Хафизова А.И. Снижение энергетических затрат при отводе низкопотенциального тепла от оборотной воды путем использования блока оросителя с гофрированными перфорированными пластинами // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22. № 10. С. 57-61.

2. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., Харьков В.В. Исследование коэффициента массоотдачи в контактных устройствах с прямыми углами // Вестник технологического университета. 2020. Т. 23. № 3. С. 89-92.

3. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С. Осаждение капель жидкости при интенсификации охлаждения трубных пучков // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 9. С. 33-35.

УДК 621.928.93

## **СЕПАРАЦИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ИЗ ГАЗОВОГО ПОТОКА В СЕПАРАЦИОННОМ УСТРОЙСТВЕ**

А.Ю. Васина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

AnzhYan@yandex.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. А.В. Дмитриев

В работе рассмотрена проблема повышения эффективности улавливания твердых частиц диоксида кремния после плазмотрона и уменьшения энергетических затрат в результате протекания технологического процесса. Представлена упрощенная трехмерная модель сепаратора с наклонными двутавровыми элементами, обусловлена эффективность ее применения.

**Ключевые слова:** сепарация, центробежные силы, эффективность, наклонные двутавровые элементы.

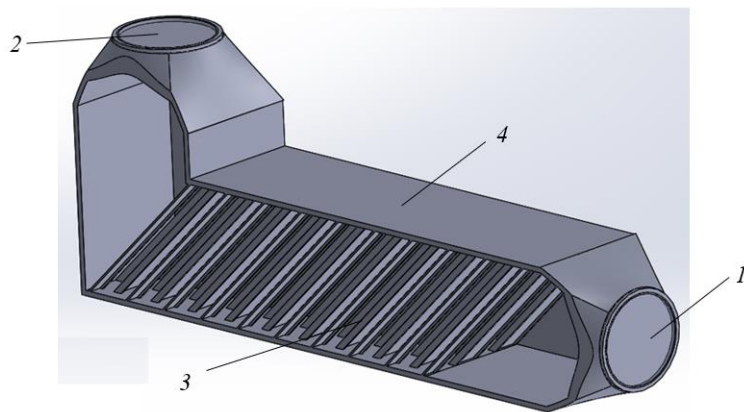
В циклонных аппаратах наибольшая эффективность удаления достигается при улавливании частиц размером  $>20$  мкм, однако, при наличии частиц размером 5 или 10 мкм результативность значительно снижается [1–3]. Применение циклонов сопряжено с большими потерями давления (до 1,5 кПа). В вихревых пылеуловителях эффективность удаления мелкодисперсных частиц достигает 99 %, к недостаткам при этом относится необходимость в дополнительном дутьевом устройстве и сложность конструкции [4].

В рукавных фильтрах результативность очистки газа от частиц диаметром 0,5 мкм и менее составляет от 90 до 99,99 %, однако часть перегородок нуждается в периодической замене, требует больших энергозатрат, а сами рукавные установки имеют значительные габариты.

Электрофильтры универсальны и могут использоваться в условиях повышенных температур, однако установка имеет высокую стоимость и не предполагает очистку взрывоопасных газов.

Поскольку давление в вакуумных линиях ограничено, высокое гидравлическое сопротивление является одним из главных недостатков вышеперечисленных аппаратов. По этой причине необходима разработка сепаратора с высокой эффективностью улавливания мелкодисперсных частиц и низким гидравлическим сопротивлением.

Для решения данной проблемы предлагается сепарационное устройство (см. рисунок). Принцип действия заключается в равномерном распределении газового потока с частицами, поступающего через входной патрубок 1, по всей высоте и ширине устройства, и дальнейшем изменении структуры потока в волнообразный вид, вследствие его протекания через ряды двутавровых элементов, где пространства поочередно сужаются и расширяются. Под действием центробежных сил частицы диоксида кремния выбиваются из структурированного потока и падают на дно устройства по мере того, как газ огибает ряды двутавровых элементов. Множество вихреобразований с маленьким радиусом в таком сепараторе имеют максимально возможные значения центробежных сил.



Трехмерная модель сепаратора с наклонными двугавровыми элементами: 1 – входной патрубком; 2 – выходной патрубком; 3 – несколько рядов наклонных двугавровых элементов; 4 – корпус сепаратора

Численные исследования газодинамики были проведены в ПК Ansys Fluent. В расчетах была применена  $k-\omega$  SST модель турбулентности, изменялись такие параметры, как: плотность частиц  $\rho_a$  от 2000 до 3000 кг/м<sup>3</sup>, скорость входящего потока  $W$  от 3 до 10 м/с, кинематическая вязкость воздуха  $\nu = 15,06 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, температура потока  $t = 20$  °С, диаметр частиц  $a$  от 1 до 15 мкм, количество частиц на входе в сепаратор  $n = 1000$ . Для упрощения расчетной ячеистой модели считалось, что при контакте с двугавровым элементом частица уловлена сепаратором.

В ходе исследований принимались такие допущения, как стационарность газового потока, исключение взаимодействия между частицами пыли, отсутствие влияния частиц на движение несущей среды.

В ходе расчетов было установлено, что эффективность применения в среднем составляет 67,3 % при диаметре частиц  $a$  от 1 до 15 мкм, плотности  $\rho_a$  от 2000 до 3000 кг/м<sup>3</sup> и входной скорости газового потока  $W$  от 3 до 10 м/с. Потери давления в сепараторе при входной скорости газового потока от 3 до 10 м/с составляют от 168 до 1880 Па. Было установлено, что эффективность сепарации увеличивается по мере возрастания входной скорости газового потока от 3 до 10 м/с. Частицы размером до 3 мкм с большой сложностью выбиваются из структурированного потока, поскольку движутся с несущей средой, огибая наклонные двугавровые элементы. Эффективность при этом составляет не более 45%.

### Источники

1. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Дмитриева О.С. Улавливание мелкодисперсных капель из газового потока в сепарационном устройстве с двутавровыми элементами // Промышленная энергетика. 2020. № 12. С. 47-53.
2. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., Поляков А.И. Эффективность входной ступени прямоугольных сепараторов // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21. № 11. С. 66-69.
3. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Дмитриева О.С., Уткин М.О. Исследование очистки газового потока от различных фракций пылевидных частиц сепаратором трапециевидной формы // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22. № 10. С. 68-71.
4. Dmitriev A.V., Zinurov V.E., Dmitrieva O.S. Collecting of finely dispersed particles by means of a separator with the arc-shaped elements // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2019. Vol. 126. P. 00007.

УДК 536.24

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСПАРЕНИЯ КАПЕЛЬ ВОДЫ С ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА

К.А. Войткова

ФГАОУ ВО НИ «ТПУ», г. Томск

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Г.В. Кузнецов

Несмотря на очевидный широкий выбор математических моделей для определения характеристик процесса испарения капель жидкостей и результатов экспериментальных исследований необходима разработка математических моделей процессов испарения капель жидкостей с поверхностей твердых тел в условиях их нагрева для интенсификации процесса охлаждения локально теплонагруженных участков оборудования. В настоящей работе численно исследовался процесс испарения капли воды с нагретой поверхности подложки из алюминиевого сплава в неизолированной камере. Численно решены задачи теплопроводности в капле воды и диффузии водяных паров в области над каплей методом простых итераций.

**Ключевые слова:** испарение, капля, математическая модель, скорость испарения.

Применение традиционных технологий в системах обеспечения тепловых режимов современного энергонасыщенного оборудования (например, воздушное охлаждение) во многих случаях не может обеспечить достаточно эффективный отвод тепла [1, 2]. Перспективной технологией охлаждения является подача охлаждающей жидкости на теплонагруженный участок энергонасыщенного оборудования (прямое жидкостное охлаждение). В эту группу входят технологии охлаждения, в которых жидкость подается на разогретую поверхность в виде капель или струй. В основе указанных выше технологий охлаждения лежат тепловые эффекты фазового перехода. Испарение капли жидкости с поверхности твердого тела – сложный процесс [3], на характеристики которого (режимы испарения, времена, скорости испарения) помимо параметров окружающей среды (температур, давлений, концентраций паров испарившейся жидкости и др.) влияют теплопроводность материала, теплофизические свойства жидкости и др. Целью настоящей работы являлась разработка математической модели для определения характеристик процесса испарения капли жидкости с поверхности твердого тела: температуры, скорости испарения.

Для определения температур в капле использовалось уравнение энергии (1). Принято, что температурное поле в области решения формируется за счет теплопроводности.

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\lambda}{r^2 \sin \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \sin \varphi \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right), \quad 0 < r < R; \quad 0 < \varphi < \pi / 2, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  $C$  – теплоемкость, Дж/(кг·К).

Начальные условия для рассматриваемой задачи имели вид:

$$t = 0: \quad T = T_0, \quad 0 < r < R; \quad 0 < \varphi < \pi / 2, \quad (2)$$

где  $t$  – время, с;  $T_0$  – начальная температура воды, К.

На границах области решения задавались граничные условия:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=0} = 0, \quad t > 0, \quad 0 < \varphi < \pi / 2; \quad (3)$$

$$\lambda \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R} = \alpha(T_e - T) - W \cdot Q, \quad t > 0, \quad \alpha > 0, \quad 0 < \varphi < \pi / 2; \quad (4)$$

$$T|_{\varphi=0} = T_s, \quad t > 0, \quad R < r < R'; \quad (5)$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right|_{\varphi=\pi/2} = 0, \quad t > 0, \quad R < r < R', \quad (6)$$

где  $T_s$  – температура поверхности подложки, К;  $Q$  – теплота парообразования, Дж/кг;  $W$  — скорость испарения, кг/(м<sup>2</sup>·К);  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К). Скорость испарения капли воды рассчитывалась по формуле Герца-Кнудсена.

В результате численного моделирования процесса испарения капли воды с поверхности подложки получены распределения температур в капле. Установлено, что при испарении капли воды с нагретой до 333 К поверхности твердого тела распределение температур слоев жидкости неравномерно по угловой координате: после начала испарения капли воды перепад температур составил 18 К, по мере нагрева и испарения капли воды распределение температур выравнивалось. Через 10 с, 60 с и 100 с после начала испарения капли воды перепад температур по угловой координате составил 10 К, 6 К и 6 К при уменьшении ее толщины в 1,01, 1,2 и 1,5 раза, соответственно. Последнее связано с неравномерным охлаждением капли вследствие оттока водяных паров с ее поверхности и теплообменом с окружающей средой (принято, что средняя температура окружающего каплю воздуха на пять градусов ниже температуры поверхности подложки, с которой испарялась капля). Установлено, что с увеличением радиальной координаты ( $r$ , мм) температура в испаряющейся капле воды уменьшается на 3 К. Также установлено, что при уменьшении толщины капли воды вследствие ее испарения температуры слоев жидкости увеличиваются от 293 К (начальная температура капли воды) до 324 К (температура воды при  $\varphi=90^\circ$ ,  $r=R$ ). Анализируя распределения температур, можно сделать вывод, что со временем температура на границе жидкость/газ/твердое тело ( $\varphi=0^\circ$ ) уменьшается из-за ее охлаждения вследствие оттока водяных паров. Можно сделать вывод, что с уменьшением контактного радиуса капли жидкости за счет увеличения ее толщины (при одинаковом объеме капель) влияние «охлаждающего эффекта» на характеристики процесса испарения капли будет увеличиваться.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90027.



## Источники

1. Сафин А.Р., Ившин И.В., Цветков А.Н., Петров Т.И., Басенко В.Р., Манахов В.А. Развитие технологии мобильных зарядных станций для электромобилей // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 5. С. 100-114.

2. Сафин А.Р., Вебера Р.К. Тяговые электродвигатели для электромобилей, не содержащие редкоземельные элементы // Вестник КГЭУ. 2021. Т. 13. № 1(49). С. 16-36.

3. Батищева К.А., Вымпина Ю.Н., Влияние способа обработки алюминиево-магниевого сплава на структуру кольцевых осадков, формирующихся при испарении капель коллоидных растворов // Вестник КНИТУ им. А. Н.Туполева. 2021. Т. 77. № 1. С. 3.

УДК 621.928

## РАЗДЕЛЕНИЕ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА В МУЛЬТИВИХРЕВОМ КЛАССИФИКАТОРЕ

В.Э. Зинуров, А.Р. Галимова<sup>1</sup>, И.А. Бикташев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>galimovaar00@mail.ru

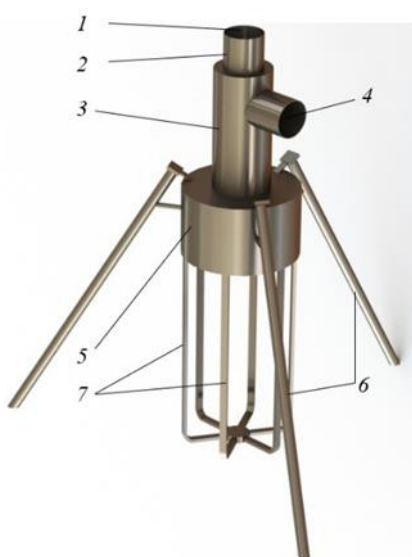
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. К.Х. Гильфанов

На сегодняшний день в целях повышения эффективности производственных процессов на промышленных предприятиях актуальной задачей является проведение численных исследований процесса фракционирования мелкодисперсных частиц. Авторами предложена конструкция мультिवихревого классификатора. Представлены результаты моделирования классификации различных механических примесей в программном комплексе ANSYS Fluent.

**Ключевые слова:** мультिवихревой классификатор, трехмерная модель, разделение, сыпучий материал.

На современном этапе развития химических отраслей промышленности проблема низкой эффективности фракционирования мелкодисперсных частиц является актуальной. С помощью процесса фракционирования осуществляется разделение сыпучих материалов с целью получения равномерной порошковой смеси, которую применяют в разных сферах производства, например при изготовлении лекарственных средств [1].

В настоящий момент времени выделяют различного рода классификаторы порошка: центробежные, динамические, гравитационные, ситовые и др. В некоторых случаях, пылеуловительные аппараты могут использоваться в качестве классификаторов, например, прямоугольный сепаратор [2]. Главным недостатком перечисленных аппаратов является низкая эффективность фракционирования частиц. Авторами работы был разработан мультивихревой классификатор для разделения мелкодисперсных частиц. Представлена трехмерная модель разработанного классификатора (см. рисунок).



Трехмерная модель мультивихревого классификатора: 1 – входной патрубок, 2 – внутренняя цилиндрическая труба, 3 – внешняя цилиндрическая труба, 4 – выходной патрубок, 5 – цилиндрическая часть, 6 – опоры, 7 – металлическая конструкция для съемной емкости

Принцип работы разработанного мультивихревого классификатора устроен следующим образом.

Основные конструктивные элементы аппарата

№	Конструктивный элемент	Кол-во, шт.
1	Внешняя цилиндрическая труба 159×5 мм	1
2	Внутренняя цилиндрическая труба 108×4 мм	1
3	Труба для цилиндрической части аппарата 325×8 мм	1
4	Плоский лист толщиной 6 мм	1
5	Металлическая конструкция	6

Изначально газовый поток с мелкодисперсными частицами на основе силикагеля направляется в устройство через входной патрубок 1, далее он опускается вниз по внутренней цилиндрической трубе 2 до прямоугольных щелей. Траектория движения газового потока резко изменяется перпендикулярно трубе. В ходе движения запыленного газа по данным траекториям часть частиц выпадает из структуры потока и через круглое отверстие в нижней части внутренней цилиндрической трубы 2 падает в съемную емкость, которая крепится на металлическую конструкцию 7. При выходе потока газа из прямоугольной щели он разделяется на две струи, которые в последствии образуют два завихрения [3].

При движении газового потока в верхнюю часть устройства он проходит через круглые отверстия, сделанные в шайбе в межтрубном пространстве, которая является дополнительным сепарационным элементом [4].

На процесс разделения сыпучего материала по фракциям влияют конструктивные параметры. Основные из них: размер и количество отверстий в решетке, высота цилиндрической трубы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Стипендии Президента РФ СП-3577.2022.1.

### **Источники**

1. Харьков В.В., Дмитриев А.В., Галимова А.Р., Дмитриева О.С. Исследование влияния конструктивных параметров сепаратора вертикального типа на процесс образования устойчивых вихрей // Вестник технологического университета. 2021. Т. 24. № 7. С. 64–67.

2. Зинуров В.Э., Галимова А.Р. Оценка экономической эффективности внедрения сепарационных устройств на предприятиях с покрасочными камерами // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2020. № 12. С. 50–59.

3. Дмитриев А.В., Галимова А.Р., Гумерова Г.Х., Дмитриева О.С. Анализ динамики жидкости и газа в сепараторе с кольцевым пространством // Вестник технологического университета. 2021. Т. 24. № 4. С. 80–84.

4. Зинуров В.Э., Мадышев И.Н., Ивахненко А.Р., Петрова И.В. Разработка классификатора с соосно расположенными трубами для разделения сыпучего материала на основе силикагеля // Ползуновский вестник. 2021. № 2. С. 205-211.

## РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КЛАССИФИКАТОРА-СЕПАРАТОРА

В.Э. Зинуров<sup>1</sup>, А.Р. Галимова, Б.Р. Хабибуллин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>vadd\_93@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. А.В. Дмитриев

В работе рассмотрена проблема разделения сыпучего материала на различные фракции. Разработан и создан классификатор - сепаратор. Проведены численные исследования. Результаты показали, что для входных скоростей: 2, 5 и 8 м/с имеется одна или несколько областей, включающая пик эффективности. В частности, при входной скорости газа 2 м/с существует 2 области, при которых эффективность резко возрастает (области с пиками), соответствующая диапазону частиц от 10 до 30 и от 30 до 40 мкм, при 5 м/с существует одна область с пиком от 5 до 30 мкм, при 8 м/с существует одна область с пиком от 5 до 20 мкм.

**Ключевые слова:** классификация сыпучего материала, эффективность сепарации, фракционирование, сепаратор, классификатор, разделение порошка.

Важной задачей при производстве сыпучих материалов является их фракционирование [1]. Авторами была представлена конструкция классификатора – сепаратора в работах [2-4]. Принцип действия основан на сепарации частиц из завихренного газа в межтрубном пространстве. Следует отметить, что конструкция устройства, позволяющая создать структурированную завихренную структуру потока, разработана на основе предыдущих исследований [5].

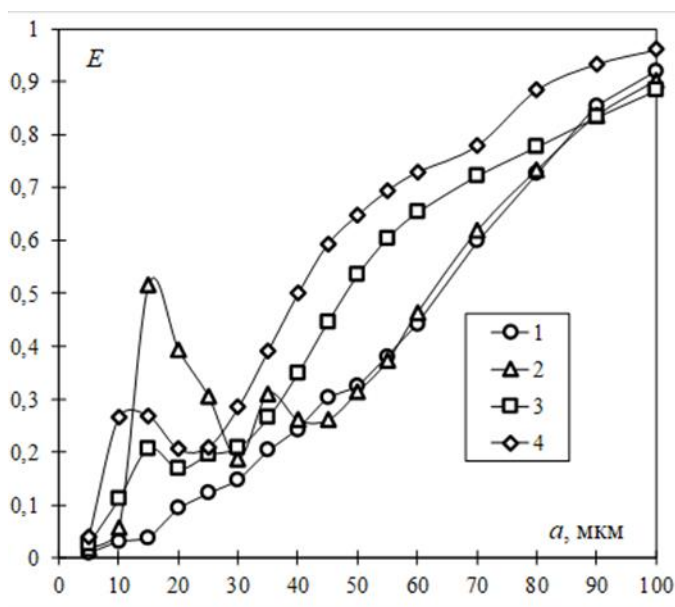
В работе была поставлена цель, которая заключалась в исследовании эффективности классификатора – сепаратора.

Исследования проводились с помощью программного продукта Ansys Fluent. Сеточная модель включала около 1 млн элементов.

Полученные данные были представлены в виде зависимости эффективности центробежного классификатора – сепаратора от размера частиц (см. рисунок).

При входной скорости 1 м/с областей с пиком не наблюдается. При данной скорости в среднем эффективность улавливания твердых частиц размером от 5 до 100 мкм составляет 33,9 %. При входной скорости газового потока 2 м/с существует 2 области, при которых эффективность резко возрастает (области с пиками), соответствующая диапазону частиц от 10 до 30 и от 30 до 40 мкм. Максимальная эффективность для первого пика составляет 51,6 %, для второго 31,1 %. Для крайних границ первой области с пиком, которые соответствуют 10 и 30 мкм, эффективность классификатора составляет 5,6 и 18,7 %, соответственно, для второй области с граничными точками 30 и 40 мкм эффективность составляет 18,7 и 31,1 %.

При входной скорости равной 5 м/с существует одна область с пиком, соответствующая диапазону частиц от 5 до 30 мкм. Данный пик эффективности достигается при 15 мкм и составляет 20,7 %. На границах данной области с пиком, соответствующей 5 и 20 мкм, эффективность равна 2,7 и 16,8 %, соответственно. При входной скорости газа 8 м/с существует одна область с пиком. Границы, которой равны 5 и 20 мкм с пиком при размере частиц 15 мкм. Эффективность классификатора при 5, 20 и 15 мкм составляет 4,1, 20,5 и 26,8 %, соответственно.



Зависимость эффективности центробежного классификатора-сепаратора от размера частиц при различной входной скорости газового потока  $W$ , м/с:

1 – 1; 2 – 2; 3 – 5; 4 – 8

Таким образом, анализ эффективности улавливания твердых частиц классификатором показал, что для входных скоростей: 2, 5 и 8 м/с имеется одна или несколько областей, включающая пик эффективности. В частности, при входной скорости газа 2 м/с существует 2 области, при которых эффективность резко возрастает (области с пиками), соответствующая диапазону частиц от 10 до 30 и от 30 до 40 мкм, при 5 м/с существует одна область с пиком от 5 до 30 мкм, при 8 м/с существует одна область с пиком от 5 до 20 мкм.

Достоинствами разработанного центробежного классификатора – сепаратора являются высокая селективность разделения сыпучего материала, низкое гидравлическое сопротивление, легкость в эксплуатации и сборке, применимость на многих промышленных объектах, вследствие малых габаритов.

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ СП – 3577.2022.1.

#### **Источники**

1. Зинуров В.Э., Мадышев И.Н., Ивахненко А.Р., Петрова И.В. Разработка классификатора с соосно расположенными трубами для разделения сыпучего материала на основе силикагеля // Ползуновский вестник. 2021. № 2. С. 205-211.

2. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Сахибгареев Н.Ф., Латыпов Д.Н., Гарипов М.Г. Численное моделирование газодинамики в центробежном классификаторе // Вестник технологического университета. 2021. Т. 24. № 12. С. 128-132.

3. Zinurov V.E., Dmitriev A.V., Ruzanova M.A., Dmitrieva O.S. Classification of bulk material from the gas flow in a device with coaxially arranged pipes // MATEC Web of Conferences. 2020. V. 193. P. 01056.

4. Zinurov V.E., Dmitriev A.V., Madyshev I.N., Dmitrieva O.S. Effect of Design Parameters of Classifier with Coaxial Pipes on Efficiency of Fractionation of Finely Divided Bulk Material // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 57. No 7-8. P. 531-537.

5. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., Нгуен В.Л. Эффективность прямоугольного сепаратора в зависимости от оформления элементов внутри аппарата // Вестник КГЭУ. 2018. Т. 10. № 1(37). С. 74-81.

## РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕМНЫХ РАСХОДАХ ХОЛОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

А.Е. Исаева, К.С. Моисеева  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
ianna1153@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. О.С. Попкова

В работе рассмотрена проблема отвода тепловой энергии от парогазовой смеси. Представлена экспериментальная установка. Описана схема проведения эксперимента. Представлены конструктивные параметры теплообменника. Получена зависимость изменения коэффициента теплопередачи от времени проведения эксперимента. Результаты показали, что увеличение скорости движения холодного теплоносителя внутри теплообменного аппарата в первые секунды подачи воды приводило к росту передачи теплового потока от парогазовой смеси.

**Ключевые слова:** теплообменный аппарат, коэффициент теплопередачи, тепловой поток, температурный напор.

Актуальной задачей на некоторых заводах и промышленных предприятиях является перенос тепловой энергии от одного теплоносителя к другому [1–3]. Данная задача решается применением теплообменного аппарата. Однако, в некоторых случаях задача может усложняться, например, дополнительными условиями – конденсация, протекание химических реакций и др. Одно из подобных условий являлось актуальным для предприятия «ПАЛП Инвест», которое располагается в г. Казань. В частности, имеется необходимость отвода тепловой энергии от парогазовой смеси к воде. При этом температура парогазовой смеси составляет около 200–220 °С.

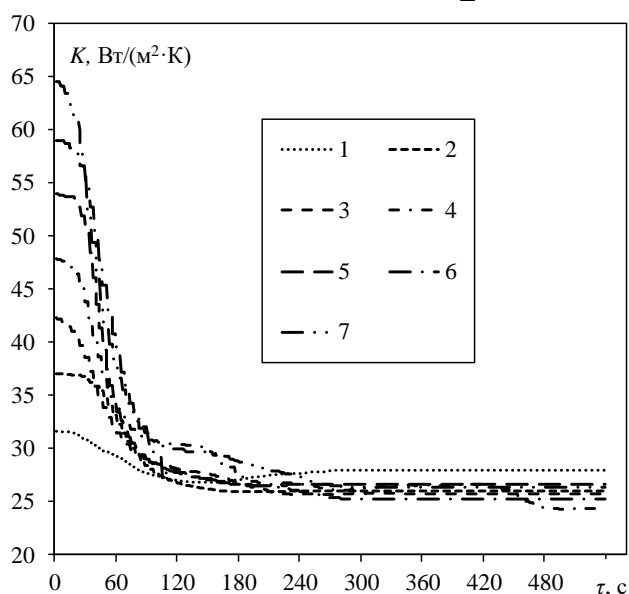
Для решения данной проблемы было внедрено теплообменное устройство, представляющее собой цилиндрическую трубу. Для увеличения коэффициента теплопередачи цилиндрическая труба была обвита ребрами с определенным шагом. Для крепления трубы к воздухопроводу использовалась соединительная гофра [4].

Количество ребер, которые были нанесены методом навивки – 140 шт. Высота ребра составила 9 мм. Следует отметить, что площадь теплообменной поверхности оребренной цилиндрической трубы составила около 0,8 м<sup>2</sup>.

При проведении промышленных экспериментов была реализована следующая схема: по воздуховоду снизу в верхнюю часть шел пар, который огибал цилиндрическую трубу по мере своего движения. В этот момент времени внутри трубы текла холодная вода. Для получения большой выборки данных варьировался расход воды от 60 до 120 л/час (см. рисунок).

В ходе анализа экспериментальных данных был рассчитан параметр  $K$ , характеризующий передачу тепловой энергии от одного теплоносителя к другому:

$$K = \frac{G_V \rho C_p \Delta t}{F \cdot 36 \cdot 10^5} \cdot \frac{1}{t_2 - \frac{t_{12} + t_{22}}{2}} \quad (1)$$



Изменение коэффициента теплопередачи  $K$  от времени проведения эксперимента  $\tau$ .

Значения объемного расхода холодного ТН  $G_V$ , л/час:

1 – 60; 2 – 70; 3 – 80; 4 – 90; 5 – 100; 6 – 110; 7 – 120

Увеличение скорости движения холодного теплоносителя внутри теплообменного аппарата в первые секунды подачи воды приводило к росту передачи теплового потока от парогазовой смеси. Анализ полученных данных показал, что наибольшее значение теплового потока  $Q$  составилось около 9,9 кВт. При этом наименьшее значение составило около 5 кВт.



Проведенные исследования показали, что применение теплообменного рекуперативного устройства позволяет отводить тепловую энергию в больших объемах от парогазовой смеси. Данное тепло может использоваться, например, для нужд предприятия.

Достоинствами представленного рекуперативного теплообменного аппарата являются легкость в применении, малые габариты.

### **Источники**

1. 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. Том 7. № 2 (26). С. 60-74.

2. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Гумерова Г. Х. Оценочный расчет процесса теплообмена в камере сгорания при сжигании природного газа // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21. № 2. С. 99-103.

3. Шинкевич Т.О., Попкова О.С., Шинкевич О.П. Компрессионные тепловые насосы в системах отопления // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2011. № 68. С. 125-136.

4. Зинуров В.Э., Галимова А.Р., Бадретдинова Г.Р., Санников И.В. Исследование теплообмена от парогазовой смеси при передаче тепла через ребристую поверхность // Межд. науч.-техн. конф. «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии» (XXI Бенардосовские чтения), посв. 140-летию изобретения электросварки Н.Н. Бенардосом (г. Иваново, 2-4 июня), 2021. С. 241–243.

## ВИХРЕВОЕ УСТРОЙСТВО КОНТАКТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА

Р.И. Казаков<sup>1</sup>, И.Р. Калимуллин<sup>2</sup>

<sup>1,3,4</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, <sup>2</sup>Инженерный институт ФГАОУ ВО «КФУ»

<sup>2</sup>ildarkalimullin@gmail.com

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. А.В. Дмитриев<sup>3</sup>, д-р техн. наук, проф. К.Х. Гильфанов<sup>4</sup>

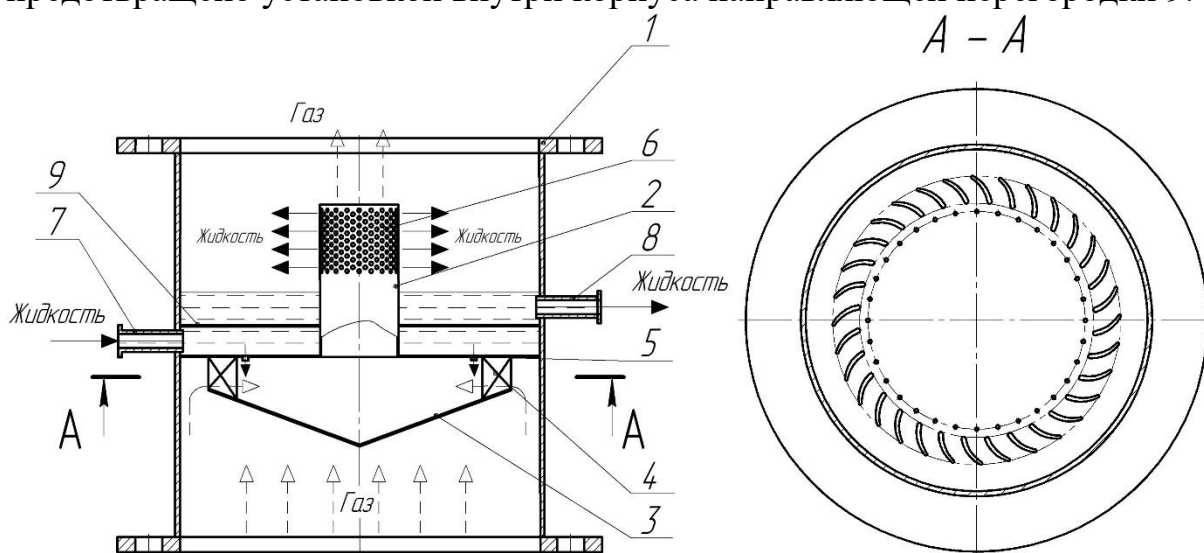
Важной задачей развития промышленности является повышение энергоэффективности технологических процессов. Для предприятий энергетики и химической промышленности особенно актуальной является задача повышения эффективности теплообмена в процессе охлаждения оборотной воды и снижения уноса жидкости в градирнях. Классические градирни отличаются относительно невысокой эффективностью и большими потерями жидкости. В работе предложено применение аппарата вихревого типа для контактного охлаждения газа и описан принцип его работы. Достоинством предложенного аппарата являются его компактность, высокая эффективность работы и простота масштабирования для обеспечения требуемой эффективности теплообмена.

**Ключевые слова:** теплообмен, градирня, вихревой аппарат.

Охлаждение большого количества оборотной воды на ТЭЦ и промышленных предприятиях происходит в градирнях и других теплообменных аппаратах [1]. Тепломассообмен в градирнях часто связан с уносом значительного количества оборотной воды в виде мелких капель, что приводит к дополнительным затратам на подпитку [2]. Для решения проблемы уноса жидкости в процессе контактного охлаждения авторами предложена следующая полезная модель (см. рисунок).

Предлагаемая вихревая ступень состоит из цилиндрической обечайки 1, внутри которой расположен контактный патрубок 2. Контактный патрубок 2 сообщается с завихрителем 3, который в свою очередь включает в себя камеру с коническим основанием, направляющие лопатки 4, штуцера 5 для ввода жидкости в завихритель, сепарационные отверстия 6 в верхней части контактного патрубка, технологические штуцера для ввода 7 и вывода 8 жидкости в обечайку и горизонтальную перегородку 9, для разделения свежепоступающей и отработанной жидкости.

Предлагаемая контактная ступень работает следующим образом: охлаждаемый газ поступает в контактную ступень снизу, проходит коническое основание и через направляющие лопатки 4 подается в завихритель тангенциально. Благодаря этому газ приобретает закрученное движение. Жидкость, в свою очередь, подается через патрубок ввода 7, заполняет полость между корпусом 1, контактным патрубком 2 и горизонтальной перегородкой 9, и через патрубки 5 диспергирует в закрученный поток газа. После этого закрученный газожидкостный поток попадает в контактный патрубок 2, здесь под действием центробежной силы жидкость отбрасывается на стенки, образует пленочный слой и увлекается восходящим газовым потоком вверх. В сепарационных отверстиях 6 жидкость отделяется от газа. Газ поступает на вышележащую ступень, а проконтактировавшая жидкость выводится из корпуса через патрубок 8. Перемешивание свежепоступающей жидкости и отработанной предотвращено установкой внутри корпуса направляющей перегородки 9.



Вихревое устройство контактного охлаждения газа

В завихрителе происходит взаимодействие газового потока с капельным слоем, обладающим развитой поверхностью контакта. Благодаря высокой скорости газового потока и тому, что количество патрубков для ввода газа совпадает с количеством щелей между лопатками завихрителя, пространство завихрителя заполняется большим количеством капель жидкости, что обеспечит развитую поверхность межфазного взаимодействия и высокую интенсивность охлаждения газа в зоне завихрителя.

В контактном патрубке происходит взаимодействие скоростного газового потока с пленкой жидкости, благодаря тому, что диаметр контактного патрубка меньше чем диаметр завихрителя, скорость газа в контактном устройстве больше, чем в завихрителе, это обеспечивает высокие относительные скорости взаимодействия газа и жидкости, высокие коэффициенты теплопередачи, высокую интенсивность теплообмена. Достоинством предлагаемого технического решения является то, что предлагаемая конструкция позволяет установить контактные ступени одна над другой, организовав многоступенчатое взаимодействие с противоточной схемой взаимодействия газа и жидкости, или с подводом свежей охлаждающей жидкости на каждую ступень. Такой подход позволяет добиться нужной степени охлаждения газа, наращивая высоту аппарата путем установки требуемого количества вихревых ступеней одна на другую [3].

#### **Источники**

1. Основы современной энергетики: учебник для вузов: в 2 т.; под общ. ред. чл.-корр. РАН Е.В. Аметистова; 6-е изд. перераб. и доп. М.: Издательский дом МЭИ, 2016.
2. Градирни промышленных и энергетических предприятий: справочное пособие; под общ. ред. В.С. Пономаренко. М.: Энергоатомиздат, 1998. 376 с.
3. Вихревая ступень для контактного охлаждения газа: пат. 107961, Российская Федерация №2011110076/12; заявл. 16.03.2011 опубл. 10.09.2011, Бюл. №23.

## ДЕЭМУЛЬСАЦИЯ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ СЕПАРАТОРЕ

К.В. Коныжов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Konizhov.kirill@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Т.О. Шинкевич

В работе рассмотрена проблема повышения эффективности разделения водонефтяной эмульсии в сепарационном устройстве. Показано, что данная проблема носит масштабный характер. В данной работе предложено сепарационное устройство для проведения физических экспериментов по разделению водонефтяной эмульсии. Описана схема проведения эксперимента. Результаты экспериментов показали, что наибольшая эффективность разделения эмульсии в предлагаемых П-образных сепараторах наблюдается при действительной скорости движения потока от 1,3 до 2,1 м/с.

**Ключевые слова:** деэмульсация, водонефтяная эмульсия, сепаратор, нефть, разделение водонефтяной эмульсии, сепарационные элементы.

Во многих отраслях промышленности важной задачей является разделение водонефтяной эмульсии на составляющие компоненты. Например, при очистке загрязненной воды – необходимо удалить нефтяные компоненты из воды [1]. Или при добыче нефти – необходимо удалить воду. Одной из актуальных задач на тепловых электрических станциях (ТЭС) является качественная очистка сточных вод от нефтепродуктов, источником которых служат мазутные хозяйства, работы электротехнического оборудования и вспомогательных служб (депо, гаражи, склады и др.) и т.д.

В настоящее время имеется большое количество различных аппаратов для очистки сточных вод от нефтепродуктов [2–4]. Данные аппараты делятся на следующие группы, в зависимости от того, на чем основан их принцип действия: гравитационные, химические, термические, электрические и иные [5]. Создание новых аппаратов с целью деэмульсации водонефтяной эмульсии является существенно актуальной задачей для топливно-энергетического комплекса (ТЭК), в частности для тепловых станций. При создании нового сепарационного устройства необходимо уделять внимание следующим параметрам: легкость в применении, высокая производительность и дешевизна.

Одним из возможных решений увеличения эффективности разделения водонефтяной эмульсии и повышения производительности сепарационных устройств является применение сепараторов, которые содержат П-образные элементы. Они располагаются внутри сепарационного устройства в шахматном порядке и позволяют создавать относительно небольшие завихрения. В результате вода и нефть будут разделяться (см. рисунок).



П-образные элементы в шахматном расположении внутри сепарационного устройства

При проведении работ с физическими экспериментами по разделению водонефтяной эмульсии была произведена оценка эффективности. Водонефтяная эмульсия представляла собой смесь двух жидкостей: воды и масла. При этом пропорция составляла 70 % воды и 30 % масла.

Эмульсия вручную перемешивалась в емкости и через жидкостный фильтр, служащий для улавливания твердых включений, насосом подавалась в исследуемый аппарат. Объемный расход водонефтяной эмульсии корректировался запорной арматурой, выглядящей как шаровой кран. Измерение осуществлялось счетчиком. Погрешность составляла около 5 %. При проведении физического эксперимента определялась плотность легкой и тяжелой фаз исходной водонефтяной эмульсии. Для этого использовался прибор АНТ-1 950-1010. Он предназначен для измерения плотности в интервале 950 – 1010 кг/м<sup>3</sup>. Массовый расход изменялся в пределах 0,06–0,69 кг/с, что соответствует действительным скоростям движения эмульсии в наиболее узком сечении устройства от 0,21 до 2,34 м/с.

В докладе показано, что наибольшая эффективность разделения эмульсии в предлагаемых П-образных сепараторах наблюдается при действительной скорости движения потока от 1,3 до 2,1 м/с.

### Источники

1. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., Данг С.В. Моделирование процесса разделения водонефтяной эмульсии в прямоугольном сепараторе // Вестник КГЭУ. 2018. № 3 (39). С. 65-71.
2. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Дмитриева О.С., Харьков В.В., Галимова А.Р. Исследование процесса деэмульсации водонефтяной эмульсии в отстойнике с гофрированными пластинами // Вестник технологического университета. 2020. Т. 23. № 7. С. 61-64.
3. Dmitriev A.V., Zinurov V.E., Vinh D., Dmitrieva O. S. Removal of moisture from contaminated transformer oil in rectangular separators // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 110. P. 01026.
4. Мадышев И.Н., Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Данг С.В., Бадретдинова Г.Р. Исследование влияния диаметра выходных отверстий на эффективность разделения эмульсии в прямоугольных сепараторах // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. № 6 (155). С. 1232-1242.
5. Галимова А.Р., Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Харьков В.В. Сепарационное устройство с соосно расположенными трубами для разделения водонефтяных эмульсий // Вестник технологического университета. 2021. Т. 24. № 3. С. 50-54.

УДК 621.928.6

## ИССЛЕДОВАНИЕ СЕПАРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА

К.С. Моисеева, Ш.М. Шарипов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
rubin9920@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. О.С. Попкова

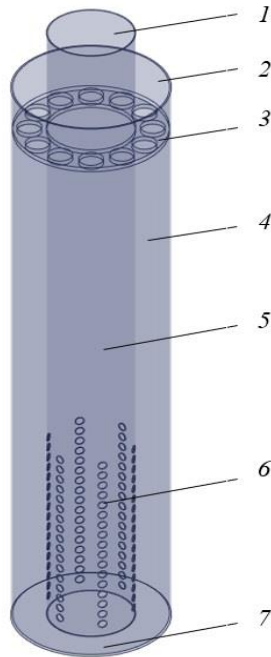
В работе рассмотрена проблема разделения сыпучего порошка на гранулометрические фракции. Представлена конструкция центробежного классификатора. Проведены физические эксперименты. Проведенные расчеты позволили установить, что повышение входной скорости газовой среды приводят к увеличению гидравлического сопротивления классификатора. В ходе обработки показаний анемометра было установлено, что скорость на входе в устройства изменялась от 7,34 до 22,21 м/с. При этом потери давления в классификаторе составили от 173 до 972 Па.

**Ключевые слова:** мелкодисперсные частицы, классификатор, Ansys Fluent, сепарационное устройство, разделение частиц.

В ходе разделения сыпучих мелкодисперсных порошков, например, различных катализаторов и адсорбентов, которые могут применяться во многих отраслях промышленности: нефтехимической, химической, металлургической, энергетической и др., важная задача отводится классификаторам. Под классификаторами понимают аппараты, которые предназначены для разделения сыпучего порошка на требуемые фракции [1–3]. Как правило, применение одной и той же модели классификатора в различных технологических линиях невозможно, так как при изменении физических и теплофизических параметров частиц, из которых состоит мелкодисперсный порошок, а также технологических и термодинамических параметров, возможно отклонение граничного размера зерен, что может привести к нарушению технического задания [4]. Поэтому почти всегда встает задача разработки нового аппарата [5].

Рассматривается следующая конструкция аппарата (см. рисунок). Новизной аппарата являются круглые отверстия б, которые проделаны во внутренней трубе. Принцип действия данного устройства заключается в следующем: газовый поток входит в устройство через входной патрубок 1, далее движется по внутренней цилиндрической трубе 5 по мере того, как газовый поток достигает круглые отверстия б, проделанные во внутренней цилиндрической трубе 5, он распределяется в сторону данных отверстий в осесимметричном направлении. При прохождении газового потока через каждое круглое отверстие б он попадает в межтрубное пространство устройства. При этом поток при выходе из круглых отверстий делится на 2 равные доли, каждая из которых по инерции движется в правую или левую сторону в межтрубном пространстве. Вследствие того, что межтрубное пространство ограничено внутренней стенкой внешней цилиндрической трубы 4 и внешней стенкой внутренней цилиндрической трубы 5 и при этом круглые отверстия б проделаны через определенный шаг, то в межтрубном пространстве создаются устойчивые завихрения. При вращательном движении потоки газа образуют вихри с высокими значениями центробежных сил. Каждое завихрение имеет по две области контакта с соседними завихрениями, что позволяет вихрям дополнительно поддерживать свое вращение по высоте межтрубного пространства.





Конструкция центробежного классификатора: 1 – входное отверстие; 2 – выходное отверстие; 3 – решетка с отверстиями; 4 – корпус; 5 – внутренняя труба; 6 – круглые отверстия; 7 – дно

В докладе представлена экспериментальная установка, которая включает центробежный классификатор. Проведенные расчеты позволили установить, что повышение входной скорости газовой среды приводят к увеличению гидравлического сопротивления классификатора. В ходе обработки показаний анемометра было установлено, что скорость на входе в устройства изменялась от 7,34 до 22,21 м/с. При этом потери давления в классификаторе составили от 173 до 972 Па. Следует отметить, что потери давления увеличивались по мере перекрытия рядов круглых отверстий во внутренней цилиндрической трубе при каждом значении входной скорости. Это обусловлено тем, что суммарная площадь проходных сечений уменьшается при движении газового потока из внутренней цилиндрической трубы в межтрубное пространство.

### Источники

1. Зинуров В.Э., Мадышев И.Н., Ивахненко А.Р., Петрова И.В. Разработка классификатора с соосно расположенными трубами для разделения сыпучего материала на основе силикагеля // Ползуновский вестник. 2021. № 2. С. 205-211.

2. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Сахибгареев Н.Ф., Латыпов Д.Н., Гарипов М.Г. Численное моделирование газодинамики в центробежном классификаторе // Вестник технологического университета. 2021. Т. 24. № 12. С. 128-132.

3. Zinurov V.E., Dmitriev A.V., Ruzanova M.A., Dmitrieva O.S. Classification of bulk material from the gas flow in a device with coaxially arranged pipes // MATEC Web of Conferences. 2020. V. 193. P. 01056.

4. Zinurov V.E., Dmitriev A.V., Madyshev I.N., Dmitrieva O.S. Effect of Design Parameters of Classifier with Coaxial Pipes on Efficiency of Fractionation of Finely Divided Bulk Material // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 57. No 7-8. P. 531-537.

5. Патент на полезную модель № 201604 U1 Российская Федерация, МПК В01D 45/04, В04С 5/103. Пылеуловитель-классификатор с соосно расположенными трубами: № 2020128520: заявл. 26.08.2020: опубл. 23.12.2020 / А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева, И. Н. Мадышев [и др.].

УДК 533.6.011

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СУЖАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ТРУБЫ ВЕНТУРИ**

И.И. Насырова, К.Д. Вьюгова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
iyuza2001@mail.ru  
Науч. рук. асс. В.Э. Зинуров

В работе представлено исследование сужающего устройства на основе трубы Вентури. Представлена экспериментальная установка. Описана методика проведения эксперимента. В ходе проведения физического эксперимента была рассчитана средняя скорость газового потока в широкой части трубы Вентури, которая составила от 6,9 до 17,1 м/с. При этом перепад давления в широкой и узкой частях трубы Вентури составил от 419,2 до 2608,3 Па.

**Ключевые слова:** труба Вентури, эффект Вентури, измерение давления, потери давления, перепад давления, дифференциальный манометр.

В настоящее время отмечено, что в жизни человека, в частности, научной, циркулируют исследования потоков жидкости и газа, что тесно связано с и исследованиями трубы Вентури. С помощью этого устройства есть возможность организовывать поток газовой среды или жидкости повышенного давления без вихреобразований и смены режима течения. Данное свойство широко применяется при разработке и создании измерительных устройств, аппаратов отчистки, систем подачи удобрений и в других различных сферах.

Целью данной работы является экспериментальное исследование сужающего устройства на основе трубы Вентури.

При проведении физического эксперимента была выполнена следующая схема (см. рисунок). Создание потока газа в линии 2 осуществлялось с помощью воздуходувки 1. Газовый поток проходил через трубу Вентури 3, после чего выходил из экспериментальной установки в окружающую среду. При движении газа через трубу Вентури осуществлялось измерение перепада давления с помощью дифференциального манометра 4. Давление измерялось в узкой и широкой частях трубы Вентури 3. Значения давлений в трубе Вентури 3 измерялись в автоматическом режиме каждую секунду и передавались вычислительному компьютеру 5.

Геометрические размеры трубы Вентури принимались следующие: диаметр широкой части – 50 мм, диаметр узкой части – 25 мм, длина трубы Вентури – 180 мм, толщина стенки – 2 мм.

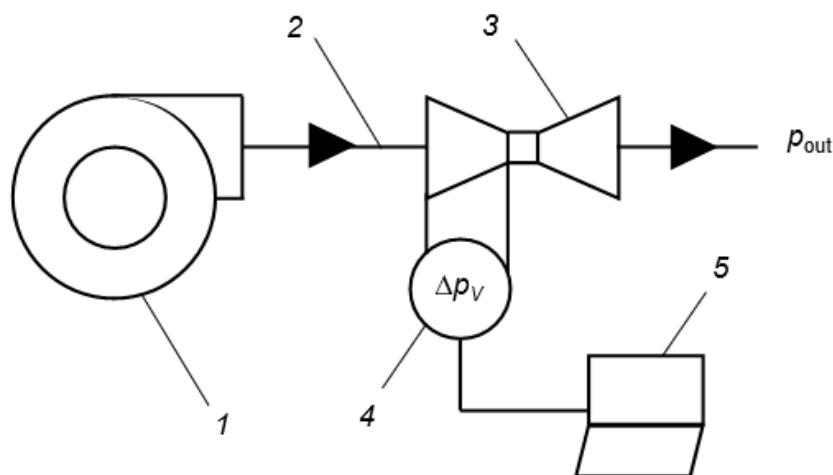


Схема экспериментальной установки для исследования сужающего устройства на основе трубы Вентури:

- 1 – воздуходувка; 2 – линия газа; 3 – сужающее устройство на основе трубы Вентури;  
4 – дифференциальный манометр; 5 – вычислительная машина

В ходе проведения физического эксперимента была рассчитана средняя скорость газового потока в широкой части трубы Вентури, которая составила от 6,9 до 17,1 м/с. При этом перепад давления в широкой и узкой частях трубы Вентури составил от 419,2 до 2608,3 Па.

В докладе показана степенная зависимость перепада давления в узкой и широкой частях трубы Вентури от входной скорости газового потока. При этом степень составила 2,02. В докладе представлено применение трубы Вентури для определения средней скорости газового потока с помощью экспериментальных установок.

Экспериментальная установка была создана на основе предыдущих исследований, в которых рассматривалась проблема сепарации частиц из газа [1-3]. Следует отметить, что на основе вычисленных значений средней скорости движения газового потока в сечении с помощью трубы Вентури появится возможность наиболее точно подбирать математическую модель для численных исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Стипендии Президента РФ СП-3577.2022.1.

### Источники

1. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., Семенова Ю.О. Экспериментальные исследования очистки загрязненных газовых потоков от мелкодисперсных частиц в прямоугольном сепараторе // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21. № 12. С. 109-112.

2. Zinurov V.E., Dmitriev A.V., Ruzanova M.A., Dmitrieva O.S. Classification of bulk material from the gas flow in a device with coaxially arranged pipes // МАТЕС Web of Conferences. 2020. V. 193. P. 01056.

3. Зинуров В.Э., Мадышев И.Н., Ивахненко А.Р., Петрова И.В. Разработка классификатора с соосно расположенными трубами для разделения сыпучего материала на основе силикагеля // Ползуновский вестник. 2021. № 2. С. 205-211.

УДК 541.6+544.163.2

## О ВЛИЯНИИ МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА НЕКОТОРЫЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЕДИНЕНИЙ МЫШЬЯКА

И.Е. Полтев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ivan.poltev322@gmail.com

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. Ф.Г. Халитов

Проведено исследование влияния полярности среды на спектральные параметры соединений  $AsF_3$  и  $AsCl_3$ . Изучены сдвиги относительных величин частот колебаний в ИК-спектрах при варьировании диэлектрической постоянной среды. Получена прямая зависимость между величинами смещения частот и изменения дипольных моментов при колебательном возбуждении.

**Ключевые слова:** диэлектрическая проницаемость, соединения мышьяка, ИК спектроскопия, частоты, дипольные моменты.

Известно, что для расчета величин различных параметров, необходимых при решении реальных уравнений состояния рабочих тел для различных теплофизических процессов в энергетических установках и двигателях, необходима информация об энергиях межмолекулярных взаимодействий. Перевод молекулы из газовой фазы в конденсированную среду сопровождается в общем случае разнообразными спектроскопическими проявлениями. Основные из них: сдвиг полос поглощения и изменение их интенсивностей в спектрах. Смещение частот в спектрах определяется как природой растворителя, так и свойствами самой исследуемой молекулы, составляющее иногда десятки процентов от значения частоты максимума в спектре газа.

Интерес к изучению молекулярных комплексов связан так же с тем, что межмолекулярные взаимодействия играют важную роль в понимании процессов растворения и адсорбции, эффектов самоорганизации молекул и образования супрамолекулярных систем с необычными физико-химическими свойствами, кинетики химических реакций.

Также известно, что в термоэлектродвигателях, с наиболее высоким коэффициентом прямого преобразования энергии тепла в электричество, используют широко известные полупроводниковые термоэлектрические материалы, содержащие элементы As, Sb, Bi [1]. Поэтому исследование эффектов, обусловленных внутри- и межмолекулярными взаимодействиями, а также поиск новых закономерностей между молекулярными параметрами соединений 5 группы Периодической системы представляет собой одну из актуальных задач молекулярной и технической физики.

Инфракрасная спектроскопия является эффективным методом изучения строения вещества на молекулярном уровне, позволяя получать информацию о структуре, динамических и физико-химических свойствах молекулярных систем. Данные молекулярной спектроскопии позволяют определять энергии и продукты фотодиссоциации, обменов и рекомбинаций, энергии и сечения ионизации. В жидком и твердом состоянии, в отличие от газов, за счет силового поля среды, на спектр молекулы влияют межмолекулярные взаимодействия. Это приводит, к смещению частот в спектре [2].

В работах [3–5] получены соотношения между молекулярными параметрами, характеризующими частоту ( $\Delta\nu_i$ ) и изменение ДМ ( $\Delta\mu_i$ ), связанных с энергией и интенсивностью полос поглощения, соответствующих колебаний. Например, для ряда  $\text{NCl}_3$ ,  $\text{PCl}_3$ ,  $\text{AsCl}_3$ ,  $\text{SbCl}_3$ .

$$\Delta\mu = -0,755 \cdot \exp[-(0,585 \cdot \Delta E)] \cdot (h\nu). \quad (1)$$

В настоящей работе, на основе электростатической модели [3–5] проведено исследование зависимости между изменениями величин частот ( $\Delta\nu_i$  – разность частот в среде и газе) и дипольных моментов ( $\Delta\mu_i$ ) при варьировании диэлектрической проницаемости среды ( $\epsilon$ ) для молекул  $\text{AsCl}_3$ ,  $\text{AsF}_3$ .

Экспериментальные частоты и рассчитанные дипольные моменты  $\text{AsCl}_3$  и  $\text{AsF}_3$

	Среда	$\nu$ ( $\delta$ )	$\Delta\nu_i / \nu_g$	$\Delta\mu_i$	$\Delta\mu_i / \Delta\mu_g$	$\epsilon$
$\text{AsCl}_3$	Gas ( $\nu$ )	418	0	0,074	1	1
$\text{AsCl}_3$	$\text{CCl}_4$	413	0,012	0,073	0,991	2,23
$\text{AsCl}_3$	эфир	411	0,017	0,073	0,987	4,31
$\text{AsCl}_3$	$\text{H}_2\text{CCl}_2$	410	0,020	0,073	0,984	9,08
$\text{AsCl}_3$	этанол	395	0,058	0,070	0,948	26
$\text{AsCl}_3$	gas ( $\delta$ )	192	0	0,034	1	–
$\text{AsF}_3$	Gas ( $\nu$ )	740	0	0,212	1	–
$\text{AsF}_3$	жидкость	715	0,035	0,205	0,967	–
$\text{AsF}_3$	gas ( $\delta$ )	336	0	0,096	1	–

Формула (1) получена для газовой фазы на основании анализа экспериментальных величин валентных углов, потенциалов ионизации и дипольных моментов. Экспериментальные данные значений частот для валентных ( $\nu_i$ ) и деформационных ( $\delta$ ) колебаний позволяют в средах различной диэлектрической проницаемости среды ( $\epsilon$ ) по формуле (1) рассчитать изменения разности дипольных моментов ( $\Delta\mu_i$ ) в основном и возбужденном состояниях. Полярность среды варьировалась от 26 (газ) до 1. Сравнение величин отношений  $\Delta\nu_i/\nu_g$  и  $\Delta\mu_i/\Delta\mu_g$  (табл.), характеризующих смещение частот валентных и деформационных колебаний относительно газовой фазы, указывает на прямую зависимость:

$$\Delta\nu_i / \nu_g = 1,035 - 1,033 \cdot \Delta\mu_i / \Delta\mu_g \quad (r = 0,997; S = \pm 0,00168).$$

Согласно используемой модели, величины  $\Delta\mu_i$ , зависящие от смещения атомов и характеризующие сдвиг электронов при колебательном процессе, связаны с потенциалами ионизации, валентными углами и дипольными моментами. Полученные результаты могут быть использованы при оценке влияния полярности среды на электронные и геометрические характеристики молекул.

## Источники

1. Дмитриев А.В., Звягин И.П. Современные тенденции развития физики термоэлектрических материалов // УФН. 2010. Т. 180. № 8. С. 821–838.
2. Бахшиев Н.Г. Фотофизика диполь-дипольных взаимодействий: Процессы сольватации и комплексообразования. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2005. 500 с.
3. Khalitov K.F., Novikov V.F., Khalitov F.G. // Russian Journal of General Chemistry. 2016. Vol. 86. No. 10. P. 2288.
4. Халитов К.Ф. Метод оценки величин интенсивностей полос поглощения в ИК- спектрах молекул вида ЭХ<sub>3</sub> // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. № 9–10. С. 138-144.
5. Халитов К.Ф. Комплексный метод аналитического контроля материалов, созданных на основе элементов пятой группы периодической системы: дисс. ... канд. техн. наук: 05.11.13. Казань, 2019.

УДК 66.045.12

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ В МУЛЬТИВИХРЕВОМ ТЕПЛООБМЕННОМ АППАРАТЕ ПО ТИПУ ТРУБЫ ФИЛЬДА

Н.Ф. Сахибгареев  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
fanat.elvisa@gmail.com  
Науч. рук. асс. В.Э. Зинуров

В статье предложена усовершенствованная модель трубы Фильда с отверстиями во внешней трубе для интенсификации теплоотдачи от текучей среды к внутренней стенке внешней трубы. Показано, что, конструкционные изменения приводят к созданию вихревых структур, которые сносят пограничный слой, тем самым увеличивая теплоотдачу от среды к стенке. Для сравнения коэффициента теплоотдачи была смоделирована аналогичная по геометрическим и физическим параметрам конструкция, отличие заключалось в наличии равномерного зазора, вместо конструкции с отверстиями во внешней трубе. Получена зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости по воде и по воздуху в конструкции с отверстиями во внешней трубе и с равномерным зазором.

**Ключевые слова:** вихревые структуры, труба Фильда, отверстия, теплоотдача, теплообмен.

В настоящее время актуальной задачей является интенсификация теплоотдачи при создании новых энергетических и теплообменных аппаратов. В промышленной энергетике широко применяют аппараты с закрученными вихревыми потоками. Однако недостаточная изученность гидродинамики вихревого потока сдерживает масштабное внедрение аппаратов в промышленность. Наиболее доступным и эффективным способом интенсификации является закрутка потока текучей среды в кольцевых каналах мультивихревых теплообменных аппаратов, например трубы Фильда [1, 2]. Изучение влияния вихревой структуры на теплоотдачу от текучей среды к стенкам, по исследованиям авторов [3], даёт нам представление о том, что закрутка вихревого потока существенно интенсифицирует теплоотдачу. Стоит отметить, что коэффициент теплоотдачи уменьшается вследствие снижения интенсивности вращательного движения потока и образования у стенок гидродинамического пограничного слоя, толщина которого постепенно нарастает.

Целью данной работы является экспериментальное исследование интенсификации теплоотдачи от текучей среды через стеночные поверхности в трубе Фильда. А также численное сравнение коэффициентов теплоотдачи классической конструкции трубы Фильда с равномерным зазором и усовершенствованной конструкцией с отверстиями во внешней трубе [4]. Новизной усовершенствованной конструкции являются равномерные по окружности отверстия на нижнем конце внутренней трубы и отверстия во внешней трубе, которые позволят уменьшить зону образования пограничного слоя (рис. 1).

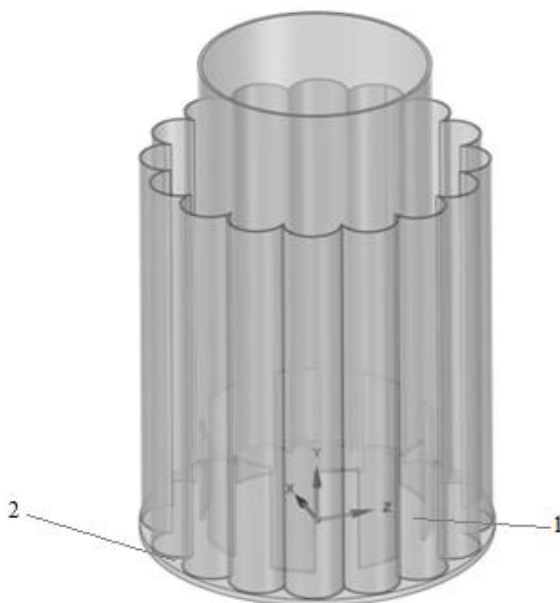


Рис. 1. 3D модель мультивихревого контактного устройства с щелями на внешней трубе: 1 – отверстия расположенные равномерно по окружности внутренней трубы, 2 - отверстия на внешней трубе



Конструкция, представленная на рис.1, состоит из двух труб и дна. Исследования производились с помощью численного моделирования в программе ANSYS Fluent [5].

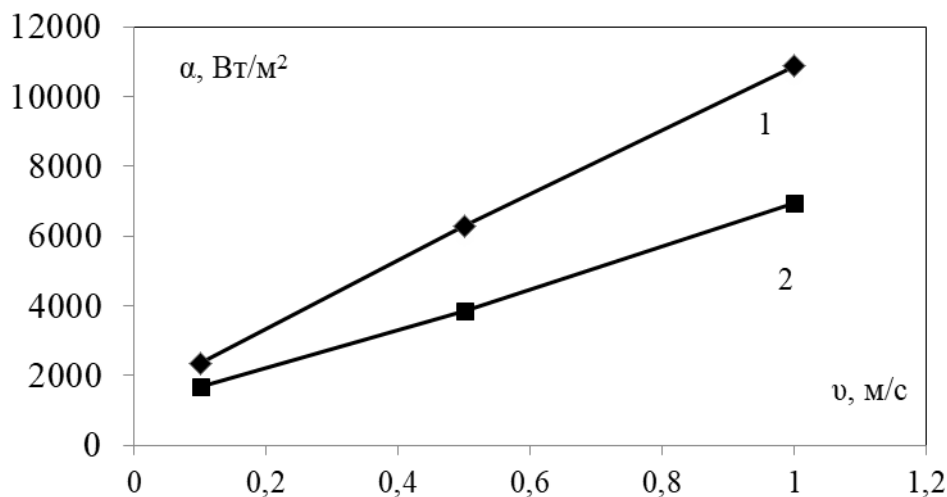


Рис. 2. Зависимости  $\alpha/W$  в конструкции по воде:

- 1 – усовершенствованная конструкция с отверстием во внешней трубе,
- 2 – классическая конструкция трубы Фильда с равномерным зазором

В результате численного моделирования было выявлено, что коэффициент теплоотдачи по воде в усовершенствованной конструкции с отверстиями во внешней трубе в среднем в 1,5 раза больше, чем в конструкции с равномерным зазором (рис. 2), а по воздуху коэффициент теплоотдачи оказался в 1,9 раза больше.

### Источники

1. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Гумерова Г.Х. Оценочный расчет процесса теплообмена в камере сгорания при сжигании природного газа // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21. № 2. С. 99-103.

2. 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. Том 7. № 2 (26). С. 60-74.

3. Митрофанова О.В. Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков в каналах ядерно-энергетических установок. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 288 с.

4. Чьен В.В. Использование труб Фильда в аппаратах системы комплексной утилизации тепловых отходов высокотемпературных установок: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.14.04. М.: НИУ «МЭИ», 2012.

5. Дмитриева О.С., Лорай С.Ф., Зинуров В.Э., Зверева Э.Р., Шагеев М.Ф. Определение оптимальных зон ввода твердых присадок в воздухопровод котла // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 9-10. С. 106-111.

УДК 62-822

## **ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПОДЪЕМНЫЙ МЕХАНИЗМ С РУЧНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Е.А. Сергеева

МБОУ «Гимназия №179», г. Казань

oksiniy@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. О.С. Попкова

На сегодняшний день во многих отраслях используется грузоподъемное оборудование, действующее на способе изменения давления жидкости в системе. Для подъема грузов давление создается в силовом цилиндре. Движение несжимаемой рабочей жидкости проходит через трубу, которая подходит к поршню и заставляет механизм двигаться. Для регулировки высоты подъема в устройство входят клапаны, с помощью которых изменяется поступление жидкости в систему. При достижении необходимой высоты клапан открывается, и жидкость перестает поступать в силовой цилиндр. И рабочий механизм останавливается. В работе была создана рабочая модель гидравлического подъемного механизма с ручным управлением. В качестве рабочей жидкости используется вода, которая при нормальных условиях является несжимаемой жидкостью.

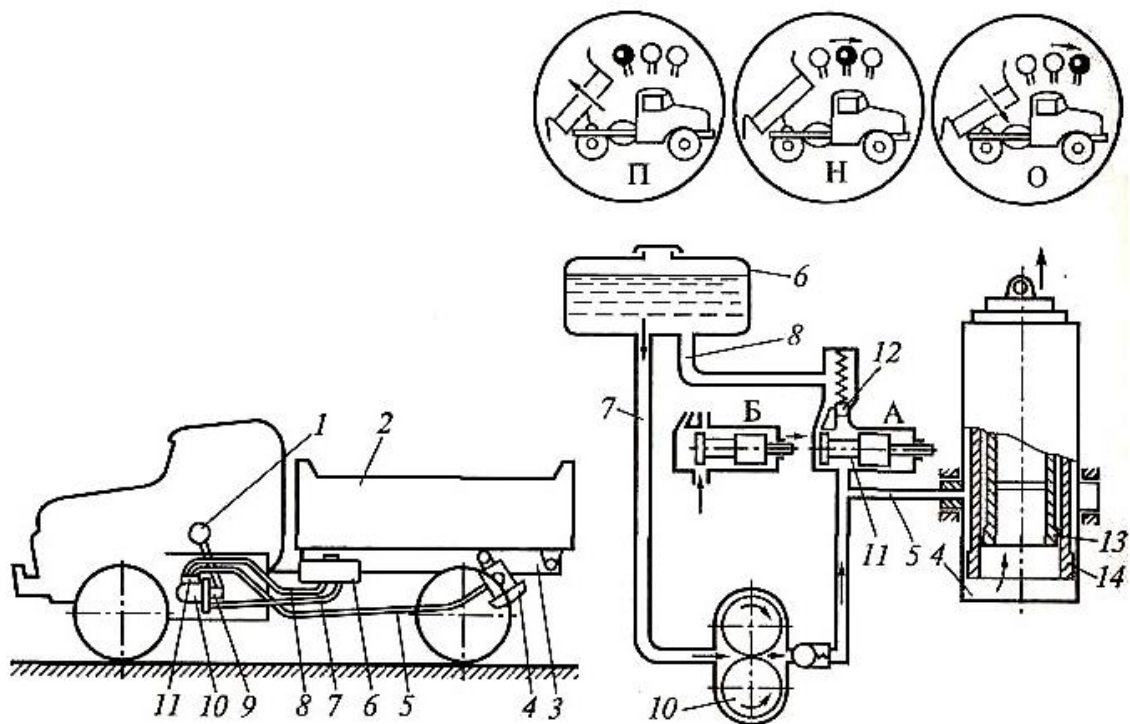
**Ключевые слова:** гидравлический подъемный механизм, ручное управление.

В простой гидравлический подъемный механизм с ручным управлением входят коробка отбора мощности, масляный насос, кран управления (гидрораспределитель), гидроцилиндр, масляный бак с масляным фильтром и трубопроводы. Чаще всего рабочим телом в гидравлической системе подъемного механизма является масло. Масло необходимо заменять при смене сезонов эксплуатации. Простыми гидравлическими механизмами с ручным управлением управляют специальным рычагом переключения [1].

Гидравлические подъемные механизмы с ручным управлением применяются на самосвалах. Их подъемные механизмы схожи по конструкциям, но отличаются видами кранов управления и механизмами отбора мощности и запоров бортов кузова.

Гидравлические подъемные механизмы самосвалов по способу загрузки подразделяются на модели с боковой и задней разгрузкой. При сравнении экономичности этих двух моделей можно сделать вывод, что механизмы самосвалов с боковым опрокидыванием кузова более экономичны, чем самосвалов с задней разгрузкой. Общая длина выдвижных звеньев у экономичной модели меньше, а также меньше объем гидроцилиндров. Это связано с более низкой высотой подъема кузова, так как ширина кузова всегда меньше длины.

На рисунке представлена схема простого гидравлического подъемного механизма. Эта модель устанавливалась на первых выпусках автомобилей самосвалов ЗИЛ-ММЗ. Рабочее тело – масло - под давлением выталкивает необходимые звенья и кузов опрокидывается. Для разгрузки самосвала с помощью специального рычага открывается задний борт.



Гидравлический подъемный механизм автосамосвала ЗИЛ-ММЗ: 1 – рычаг; 2 - кузов; 3 - надрамник; 4 – гидроцилиндр; 5, 7, 8 – трубопроводы; 6 – бак; 9 – коробка отбора мощности; 10 – насос; 11 – кран; 12 – клапан; 13, 14 – выдвижные звенья

На основании изученной конструкции и принципов работы авторами была разработана рабочая модель гидравлического подъёмного механизма с ручным управлением. В качестве рабочей жидкости используется вода, которая при нормальных условиях является несжимаемой жидкостью.

## Источники

1. Ушаков Л. Гидравлические ударные механизмы: опыт расчета и проектирования. Palmarium Academic Publishing, 2013. 280 с.

УДК 66.074.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ СЕПАРАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ДВУТАВРОВЫХ БАЛОК В ПРЯМОУГОЛЬНОМ КОРПУСЕ

Е.В. Федосеева, И.Г. Кулай  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
Fedoseevakatya2002@yandex.ru  
Науч. рук. асс. Г.Р. Бадретдинова

В работе рассмотрена проблема повышения эффективности улавливания мелкодисперсных капель формальдегида. Для этого представлена конструкция сепаратора, который имеет прямоугольную форму. Внутри расположено несколько рядов двутавровых балок. Проведен лабораторный эксперимент. Показано, что конструкция сепарационного устройства с 4 рядами двутавровых балок, в каждом из которых по 3 элемента, позволяет улавливать мелкодисперсные капли с эффективностью в среднем 45,3 % при скоростях газового потока от 4,4 до 6,6 м/с.

**Ключевые слова:** сепарационная способность, сепаратор, двутавровые элементы, двутавровые балки, сепарация.

На предприятиях деревообрабатывающей отрасли главными задачами являются повышение энергетической эффективности, пожарной безопасности и охраны окружающей среды. Современные предприятия этой отрасли обеспечивают себя полностью электрической и тепловой энергией. Для этого они используют разное электрическое оборудование, работающее на древесных отходах. Эти отходы сначала должны пройти брикетирование в прессе. Но при этом выделяются вредные пары и частицы пыли, приводящие к возгораниям, взрывам и загрязнению окружающей среды. Для уменьшения пагубного воздействия газовзвесь направляется в камеру сгорания энергетических блоков и смешивается газовым потоком окружающей среды.

Технологическая линия доставки и подготовки газовой взвеси в камеру сгорания работает следующим образом: газовая взвесь из пресса под действием вытяжной системы движется в многоступенчатую очистительную систему, которая включает предварительную обработку воздуха, орошаемые скрубберы и отстойники, которые формируют осадок вредных веществ.

Для подпитки воды применяются насосы. Однако, после данного процесса, от твердых частиц в потоке остаётся формальдегид, который, конденсируясь на внутренней поверхности воздухопровода, превращается в смолу. Смола же стекает наружу через негерметичности воздухопровода [1–3].

Данную проблему может решить сепарационное устройство с двутавровыми элементами, которое с высокой эффективностью улавливает мелкодисперсные капли формальдегида из газовых потоков. Это устройство представляет собой несколько рядов двутавровых элементов, заключенных в корпус прямоугольной формы. Для того, чтобы зафиксировать двутавровые элементы в верхней и нижних частях проделаны пазы. В нижней части устройства находится емкость для накопления капель формальдегида, стекающих по двутавровым элементам. Принцип работы системы основан на возникновении центробежной силы между рядами двутавровых элементов и их воздействия на газовый поток. При огибании газовым потоком рядов двутавровых элементов возникают центробежные силы, которые отбрасывают мелкодисперсные капли к поверхностям стенок двутавровых элементов [4]. При контакте с ними капли оседают на них и стекают в емкость в нижней части устройства [5-7].

Чтобы центробежная сила достигла максимального значения, внутри устройства необходимо выполнить следующее условие: окружность, проведенная из центра двутавра, должна проходить через крайние точки выступов двутавровых элементов соседних рядов. Нужно отметить, что высокие значения центробежной силы достигаются за счет маленького расстояния между двутавровыми элементами.

В данной работе был проведен лабораторный эксперимент. Для этого на 3D принтере был распечатан прямоугольный корпус, в котором располагалось несколько рядов двутавровых элементов. Для создания мелкодисперсных капель использовалось оливковое масло. В докладе показано, что конструктивные особенности расположения двутавровых элементов внутри устройства относительно друг друга позволяют достичь максимально высоких значений центробежных сил, влияющих на структуру газового потока и на улавливание из него мелкодисперсных капель. Конструкция сепарационного устройства с 4 рядами двутавровых балок в каждом из которых по 3 элемента позволяет улавливать мелкодисперсные капли с эффективностью в среднем 45,3 % при скоростях газового потока от 4,4 до 6,6 м/с. При этом при скорости газа 5,3 м/с достигается максимальная эффективность устройства, равная 62,5 %, при потере давления в нем 1020 Па.

### Источники

1. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Дмитриева О.С. Улавливание мелкодисперсных капель из газового потока в сепарационном устройстве с двутавровыми элементами // Промышленная энергетика. 2020. № 12. С. 47-53.
2. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Галимова А.Р., Гумерова Г.Х. Численное моделирование процесса улавливания мелкодисперсных капель формальдегида в сепарационном устройстве с двутавровыми элементами // Вестник технологического университета. 2020. Т. 23. № 11. С. 82-86.
3. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С. Осаждение капель жидкости при интенсификации охлаждения трубных пучков // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 9. С. 33-35.
4. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., Поляков А.И. Эффективность входной ступени прямоугольных сепараторов // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21. № 11. С. 66-69.
5. Zinurov V.E., Popkova O.S., Nguyen Vu.L. Separator design optimization for collecting the finely dispersed particles from the gas flows // E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2019. V. 126. P. 00043.
6. Dmitriev A.V., Zinurov V.E., Dmitrieva O.S. Collecting of finely dispersed particles by means of a separator with the arc-shaped elements // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2019. Vol. 126. P. 00007.
7. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., Нгуен В.Л. Эффективность прямоугольного сепаратора в зависимости от оформления элементов внутри аппарата // Вестник КГЭУ. 2018. Т. 10. № 1(37). С. 74-81.

## Секция 7. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ

УДК 574.5

### УСТАНОВКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА КАК ПРИРОДООХРАННАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ

В.В. Бабикова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

lera.babikova.1995@mail.ru

Науч. рук. д-р биол. наук, зав. каф. М.Л. Калайда

В статье рассмотрены примеры рыбоводных систем на основе циркулярных биотехнологий, обеспечивающих более высокое и стабильное производство продукции аквакультуры с меньшим риском возникновения экологической нагрузки на территории. Приведены результаты структур и соотношений групп в перифитоне биофильтра рыбоводных установок с замкнутым циклом водоснабжения при разных условиях содержания гидробионтов.

**Ключевые слова:** установка замкнутого водоснабжения, биофильтр, перифитон.

Строгие экологические ограничения, направленные на минимизацию загрязнений от рыбоводных заводов и аквакультурных хозяйств в различных странах мира послужили стимулом к быстрому технологическому развитию установок с замкнутым циклом водоснабжения (УЗВ). Для обеспечения требуемого качества воды в УЗВ используются биофильтры, в которых функционируют микро- и гидробиоценозы, способные к очистке вод в системе [1]. Поскольку прямое исследование микробиоценозов затруднено, представляет интерес изучение особенностей перифитона биофильтров УЗВ как косвенных характеристик, отражающих качество очистки вод.

В связи с этим целью данной работы было исследование изменения количества видов и групп перифитона в биофильтрах с различными условиями содержания гидробионтов.

Материалом для данного исследования послужили пробы перифитона, отобранные из трех биофильтров УЗВ с осетровыми, разными видами гидробионтов (раки, сомы клариевые и пангасиусы, карповые, тиляпии), радужной форелью.

Для исследования перифитона активного ила использовали пластины для обрастаний, которые при помощи тросика опускались в биофильтры. Пробы просматривались через неделю. Весь дальнейший анализ осуществлялся путем микроскопирования под покровным стеклом. Гидробионты определялись живыми по таблицам и рисункам по [2,3].

Первое исследование проводилось в биофильтре на малой УЗВ кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ» с осетровыми видами рыб. Объем биофильтра составляет  $0,2 \text{ м}^3$ , в нем лежит  $0,06 \text{ м}^3$  плавающий загрузки Helix black HXF13KLL+. Средняя температура воды в период исследования составляла  $22,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , содержание растворенного в воде кислорода –  $7,2 \text{ мг/л}$ , плотность посадки рыбы в установке –  $9,2 \text{ кг/м}^3$ .

Проведенное исследование выявило в перифитоне биофильтра 25 видов и форм организмов, относящихся к следующим систематическим группам: растительные жгутиконосцы – 2 вида (8 % от общего числа видов); животные жгутиконосцы – 1 вид (4 %); амебы – 1 вид (4 %); раковинные корненожки – 3 вида (12 %); инфузории – 7 видов (28 %); коловратки – 5 видов (20 %); олигохеты – 3 вида (12 %); брюхоресничные, круглые черви и водные клещи по 1 виду (4; 4 и 4 %, соответственно).

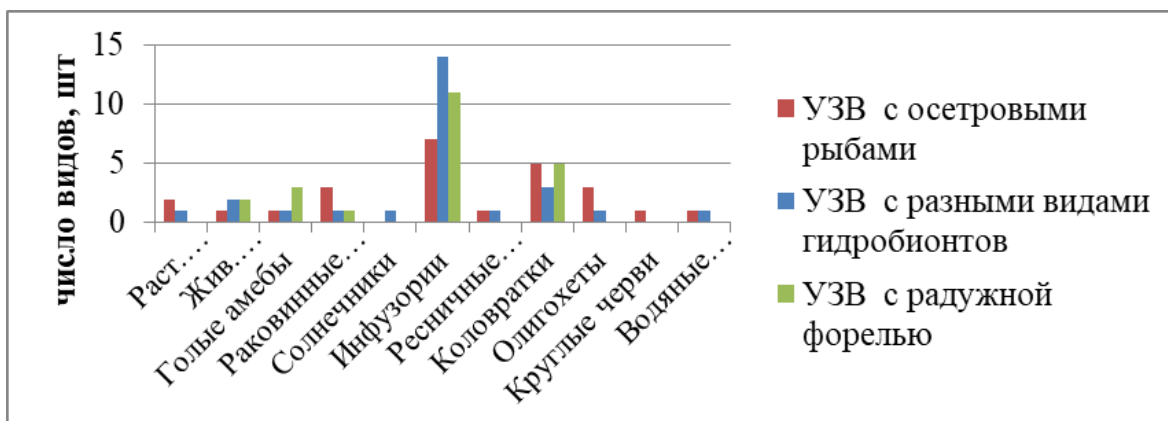
Второе исследование проведено в биофильтре рыболовной установки с радужной форелью. Объем биофильтра  $16 \text{ м}^3$ , в нем лежит  $1,5 \text{ м}^3$  тонущей загрузки Saddle-Chips. Средняя температура воды в период исследования составляла  $14 \text{ }^\circ\text{C}$ , содержание растворенного в воде кислорода –  $9,8 \text{ мг/л}$ . В данной рыболовной установке выращивается личинка радужной форели, общая биомасса составляет  $407 \text{ кг}$ .

Проведенное исследование выявило в перифитоне биофильтра 22 вида и форм организмов. По числу видов преобладают инфузории – 11 видов (50 % от общего числа видов), затем следуют коловратки – 5 видов (23 %), амебы – 3 вида (14 %), животные жгутиконосцы – 2 вида (9 %), 1 вид относится к раковинным корненожкам (5 % от общего числа встреченных видов).

Третье исследование проведено в биофильтре УЗВ с разными видами гидробионтов: раки, сомы клариевые и пангасиусы, карповые, тилапии (см. рисунок) на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ». Объем биофильтра составляет  $0,95 \text{ м}^3$ . В качестве загрузки биофильтра используется плавающая загрузка, объем которой составляет  $0,3 \text{ м}^3$ . Средняя температура воды в период исследования составляла  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , содержание растворенного в воде кислорода –  $7,5 \text{ мг/л}$ .



Проведенное исследование выявило в перифитоне биофильтра 26 видов и форм организмов. По числу видов преобладают инфузории – 14 видов (54 % от общего числа видов), затем следуют коловратки – 3 вида (12 %), животные жгутиконосцы – 2 вида (8 %), амёбы – 1 вид (4 %), также 1 вид встретился у растительных жгутиконосцев, раковинных корненожках, олигохет, солнечника, ресничных червей и водяных клещей (4;4;4; 4;4 % от общего числа встреченных видов).



Представленность групп гидробионтов в биофильтре 3-х УЗВ с осетровыми, разными видами гидробионтов (раки, сомы клариевые и пангасиусы, карповые, тилапии), радужной форелью

Анализ результатов обследования пластин выявил, что по числу видов в трех биофильтрах преобладают инфузории (см. рисунок) которые, в свою очередь, говорят о низкой нагрузке на биофильтр и высоком качестве очистки воды [2]. Индексы видового сходства в изученных биоценозах биофильтров в УЗВ с осетровыми и разными видами гидробионтов составили: индекс Серенсена – 0,28, индекс Жаккара – 0,24, индекс Маунтфорда – 0,025. В УЗВ с осетровыми видами рыб и радужной форелью: индекс Серенсена – 0,25, индекс Жаккара – 0,21, индекс Маунтфорда – 0,022. В УЗВ с разными видами рыб и радужной форелью: индекс Серенсена – 0,25, индекс Жаккара – 0,20, индекс Маунтфорда – 0,021. Таким образом, индексы видового сходства перифитона в УЗВ с различными условиями содержания гидробионтов, характеризовали низкое значение меры сходства.

### Источники

1. Калайда М.Л., Хамитова М.Ф., Калайда А.А., Борисова С.Д., Бабилова В.В. Товарная аквакультура и искусственное воспроизводство гидробионтов // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство, 2021. С. 76–89.
2. Кутикова Л.А. Фауна аэротенков (Атлас). Ленинград: Наука, 1984. С. 264.
3. Жмур Н.С., Очирова М.Н. Рекомендации по проведению технологического и гидробиологического контроля на биологических фильтрах. М.: Министерство мелиорации и водного хозяйства РСФСР, 1987.

УДК 504.4.054

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В Г. ШАХТЫ

Е.А. Гречка

ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты

grechkaliza873@gmail.com

Науч. рук. ст. преп. Е.И. Костромина

В статье изложены результаты исследования качества поверхностных вод в г. Шахты, в частности Водохранилища ХБК, созданного на р. Грушевка, проведённые в 2020-2022 гг. при помощи гидрохимического анализа. На основании проведённых исследований были выявлены причины и источники загрязнения поверхностных вод в г. Шахты.

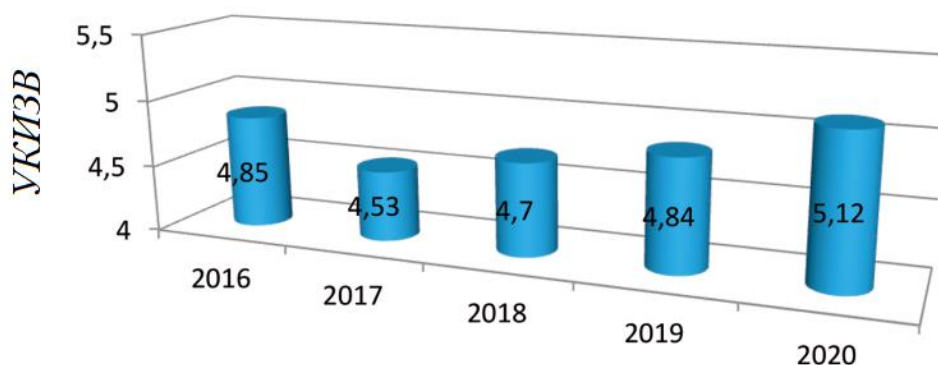
**Ключевые слова:** водный объект, водные биоресурсы, речные экосистемы, биологические циклы, кислородный режим, гидрохимический анализ.

Увеличение объёмов хозяйственной деятельности и промышленного производства на урбанизированных территориях, расположенных в непосредственной близости от водных объектов, не минуемо приводит к возрастанию антропогенной нагрузки и росту объёма ущерба, наносимого водным биоресурсам.

Вопреки способности водных объектов к самоочищению, экосистемы достаточно восприимчивы к различным антропогенным воздействиям. Наглядным проявлением таких изменений является возникновение и увеличение повторяемости случаев загрязнения водных объектов на протяжении нескольких лет.

Река Грушевка протекает по территории Ростовской области, а в частности, и по г. Шахты. Она входит в состав бассейна р. Дон и является левым, крупнейшим притоком р. Тузлов. В её верховьях находится два водоёма, одним из которых является водохранилище ХБК.

В течение 2017–2020 гг. вода в реках Сал, протока Аксай, Тузлов, Большой Несветай, Грушевка, Маныч, Егорлык, Средний Егорлык стабильно характеризуется как «грязная», что фактически отражает изменения, происходящие в водных объектах. Величина удельного комбинаторного индекса загрязнённости воды (УКИЗВ) по вышеперечисленным крупнейшим притокам р. Дон представлена на рисунке [1].



Величина УКИЗВ в реках Сал, протока Аксай, Тузлов, Большой Несветай, Грушевка, Маныч, Егорлык, Средний Егорлык за 2016–2020 гг.

Повторяемость числа случаев превышения ПДК от общего числа проанализированных проб составляет 100 % по показателям: ХПК, БПК<sub>5</sub>, сульфаты, соединения магния, железо общее.

Исследование качества воды в Водохранилище ХБК в 2022 г. проведено с помощью тест-комплектов производства ЗАО «Крисмас+» «Безопасность жизнедеятельности и экология». Гидрохимический анализ осуществлялся по девяти показателям. Результаты исследования качества воды представлены в таблице.

Итоги исследования качества воды в Водохранилище ХБК

Показатель	Результат	ПДК
БПК <sub>5</sub>	1,28 мг О <sub>2</sub> /л	4 мг О <sub>2</sub> /л
Растворённый кислород (РК)	1,92 мг/л	не менее 4 мг/л
рН	8,5	6,5-8,5
Хлориды	141,76 мг/л	350 мг/л
Сульфат-ион	1920 мг/л	500 мг/л
Железо общее	0,1 мг/л	0,3 мг/л
Кальций	10,2 мг/л	3,5 мг/л
Магний	165,24 мг/л	50 мг/л
Общая жёсткость	17 мг/л	7,0 мг/л

В результате было выявлено несоответствие ПДК по пяти показателям – растворённый кислород, сульфаты, кальций, магний, общая жёсткость.

В рамках исследования проводилась оценка качества воды в объекте, а также был осуществлён мониторинг загрязнения Водохранилища ХБК в период 2020–2022 гг. [2]. Для характеристики изменения качества воды был взят за основу гидрохимический индекс загрязнения воды (ИЗВ), который рассчитывается по формуле:

$$\text{ИЗВ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i},$$

где  $C_i$  – среднегодовые концентрации загрязняющих веществ;  $\text{ПДК}_i$  – предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ;  $n$  – строго лимитируемое количество показателей, имеющих наибольшее значение, независимо от того, превышают они ПДК или нет, включая показатель растворенного кислорода.

На основании проведённых ранее исследований в 2020 г. ИЗВ составил 9,8, и водный объект был отнесён к VI классу качества воды, характеристика состояния качества воды – «очень грязная». В 2022 г. ИЗВ составил 11,12, следовательно, водный объект относится к VII классу качества воды, характеристика состояния качества воды – «чрезвычайно грязная».

Качество воды в р. Грушевка ухудшилось. Это влечёт за собой глобальные экологические проблемы, поскольку река хоть и является малой, входит в пределы бассейна р. Дон и тем самым способна ухудшать состояние воды как в р. Дон, так и в реках крупнейших её притоков.

Сточные воды предприятий, сбрасываемые в водные объекты, после неэффективной очистки способны изменять гидрохимический и гидробиологический режимы рек, при этом ухудшают качество воды и нарушают нормальную жизнедеятельность флоры и фауны. А одной из основных причин эвтрофикации водного объекта является наличие в черте береговой зоны канализационных сетей, находящихся в неудовлетворительном техническом состоянии, что в результате аварийных ситуаций, ведет к сбросу поверхностного стока, содержащего большое количество органических веществ.

С помощью гидрохимического контроля качества воды можно объективно оценить загрязненность водных объектов, для предупреждения наступления возможных критических экологических последствий.

## Источники

1. Экологический вестник Дона. Министерство природных ресурсов и экологии Ростовской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://минприродыро.рф/projects/19/> (дата обращения 05.03.2022).

2. Костромина Е.И., Шаталова Ю.С., Гречка Е.А. Анализ качества поверхностных вод в г. Шахты на примере реки Грушевка // Перспективные технологии в строительстве и техносферной безопасности: сб. науч. трудов. Шахты: ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты, 2020. С. 35-43.

УДК 639.371.374

## АКВАКУЛЬТУРА КАК ПЕРСПЕКТИВНАЯ КОСМИЧЕСКАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ

Г.Д. Ибрагимова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[gulnaz.ibragimova777@gmail.com](mailto:gulnaz.ibragimova777@gmail.com)

Науч. рук. д-р биол. наук, зав. каф. М.Л. Калайда

В данной работе изучена проблема потенциального истощения природных ресурсов Земли при росте численности населения на планете. Как один из вариантов развития данной ситуации рассмотрен вариант освоения и переселения людей на планету Марс. Рассмотрены основные проблемы жизни на другой планете. Особое внимание уделено развитию аквакультуры, как обязательного направления деятельности в замкнутом пространстве инопланетных поселений. Выбран перспективный объект выращивания в замкнутом цикле при освоении космического пространства.

**Ключевые слова:** аквакультура, установка замкнутого водоснабжения (УЗВ), аквабиотехнологии, продукция аквакультуры, перспективный объект.

Эпоха 20-21 веков – это начало освоения космоса. В настоящее время рассматриваются задачи не только космические путешествия, но и задачи создания колоний на новых планетах. Среди первых кандидатов на роль новой Земли – Марс. Марс – седьмая по размеру планета Солнечной системы, и четвёртая по удалённости от Солнца, имеет период вращения и смену времён года, схожие с земным, но его микроклимат значительно суше и холоднее земного. Температура на поверхности планеты колеблется от  $-150$  до  $+20$  °С [1].

По мнению, основателя компании SpaceX Илона Маска первый человек сможет приземлиться на Марс уже через четыре года. А к 2050 г. предприниматель планирует организовать колонию, численность которой будет составлять 1 млн человек [2].

Для удовлетворения основных потребностей на Марсе будет трудно завести животных, и люди рискуют остаться без мясных продуктов [2]. В качестве животного белка может использоваться белок, содержащийся в рыбе. По пищевым качествам рыба не уступает мясу, а по усваиваемости даже превосходит его. В рыбе содержится от 0,1 до 33 % жиров и от 13 до 23 % белков, к тому же их ценность уникальна, так как они легко усваиваются [4, 5].

Растительную пищу при этом можно выращивать в условиях аквапоники, когда в замкнутом цикле водооборота при выращивании рыбы метаболиты рыб могут использоваться в качестве питательных компонентов для растений [3]. В установках замкнутого цикла может выращиваться как деликатесная продукция, так и продукция «каждого дня». Проведенный анализ литературы [3–6] показывает, что сегодня уровень развития биотехнологических возможностей воспроизводства и выращивания разных объектов аквакультуры, уже позволяет наладить их производство в замкнутом цикле.

Одной из особенно перспективных биотехнологий разведения рыбы в космосе является – УЗВ. Технологические возможности позволяют выращивать рыбу на протяжении всего года. В последнее время во всем мире активно развивается индустриальная аквакультура на базе УЗВ как для удовлетворения растущего потребительского спроса на рыбу [4]. Важной особенностью УЗВ является экономичное использование воды. Благодаря системе циркуляции воды УЗВ заполняется однократно, а далее только периодически подпитывается, причем на подпитку системы необходимо всего 4–6 % воды от объема установки. Циркуляционные и рециркуляционные системы в аквакультуре являются сложными по составу системы, включающие зону разведения и выращивания рыбы. Это позволяет многократно использовать один из главных ресурсов планеты – воду, что приобретает особую ценность в условиях освоения космического пространства [3].

Необходимое качество воды в УЗВ обеспечивается работой биофильтров, в которых складываются гидробиоценозы, способные к очистке воды. Остатки корма и продукты жизнедеятельности создают нагрузку на биофильтры. Особенно азотосодержащим отходам. Исследование особенностей гидробиоценозов биологических фильтров даёт возможность оценивать качество очистки вод. Показательной группой является перифитон, образующийся на элементах загрузки [3]. В литературе отмечено [3], что в биофильтре УЗВ складывается сложный гидробиоценоз, который в экспериментальной УЗВ кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» включал 12 видов и форм организмов перифитона: инфузории (*Euplotes moebiusi f. quadricirratu*s, *Paramecium caudatum*, *Tetrahymena pyriformis*, *Trachelophyllum pusillum*, *Stentor roeseli*, *Aspidisca costata*, *Hemiophrys fusidens*, *Opercularia curvicaula*, *Vorticella nutans*), олигохеты (*Aelosoma variegatum*), колесовики (*Rotaria elongate*).

Первоначальным объектом для развития аквакультуры на Марсе можно выбрать африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*). Сом отличается толерантностью к условиям обитания и стремительным ростом при выращивании в УЗВ. Клариевые сомы содержатся при температуре воды от +10 до +35 °С [4, 5]. Сом быстро растет: меньше чем за два месяца сом достигает массы 200 г. При достижении массы более 200 г у клариевого сома значительно повышается выживаемость [3–5]. Эта технология обеспечивает выход рыбопродукции с единицы площади или объема: по африканским сомам 300 кг/м<sup>3</sup> и более.

Проведенный анализ показывает, что УЗВ является не только установкой производства продукции для потребления, но и искусственной водной экосистемой – частицей природного комплекса планеты Земля при переносе технологии на другие планеты.

### Источники

1. Как будет выглядеть жизнь на Марсе [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/602fa0e09a7947edc0bba1c9> (дата обращения 20.02.22).

2. Калайда М.Л., Пиганов Е.С., Калайда А.А., Хамитова М.Ф. Клариевый сом *clarias gariepinus* при задачах искусственного воспроизводства // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации: матер. V национ. науч.-практ. конф. 2020. С. 108-112.

3. Kalaida M., Khamitova M., Kalaida A., Borisova S., Babikova V. Elements of circular technologies in aquaculture on the waters of energy facilities // E3S Web of Conferences 288, 01048. 2021.

4. Калайда М.Л., Борисова С.Д., Пиганов Е.С., Исмагилов Ф.А., Калайда А.А. Совершенствование биотехнологии выращивания сомов (SILUROIDEA) – *Silurus glanis* L., *Clarias gariepinus*, *Pangasius sutchi* на водах объектов энергетики //Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2021. №2(20). С. 39-51.

5. Калайда М.Л., Пиганов Е.С., Хамитова М.Ф. Искусственное воспроизводство африканского клариевого сома на базе кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_43986244\\_86910836.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_43986244_86910836.pdf) (дата обращения 20.02.22).

6. Вода и жизнь на Марсе [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_23244541\\_92556435.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_23244541_92556435.pdf) (дата обращения 20.02.22).

УДК 597.2/.5

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИКРЫ ФОРЕЛИ РАЗНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ В УСЛОВИЯХ РЫБОВОДНОГО КОМПЛЕКСА ООО «БИОСФЕРА ФИШ»**

В.В. Ильина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[ilina-viktoriya@mail.ru](mailto:ilina-viktoriya@mail.ru)

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. С.Д. Борисова

В статье представлены характеристики икры радужной форели от разных поставщиков и технологический процесс инкубирования в условиях ООО «Биосфера Фиш».

**Ключевые слова:** форель, инкубация, икра.

Радужная форель представляет большой хозяйственный интерес и как объект фермерского рыбоводства, и как добавочная рыба при разведении карпа в прудах с более холодной водой. Во многих странах выращивается в садках, прудах и бассейнах, а также выпускается для пастбищного нагула в небольшие реки и озера для промышленного и спортивного рыболовства.

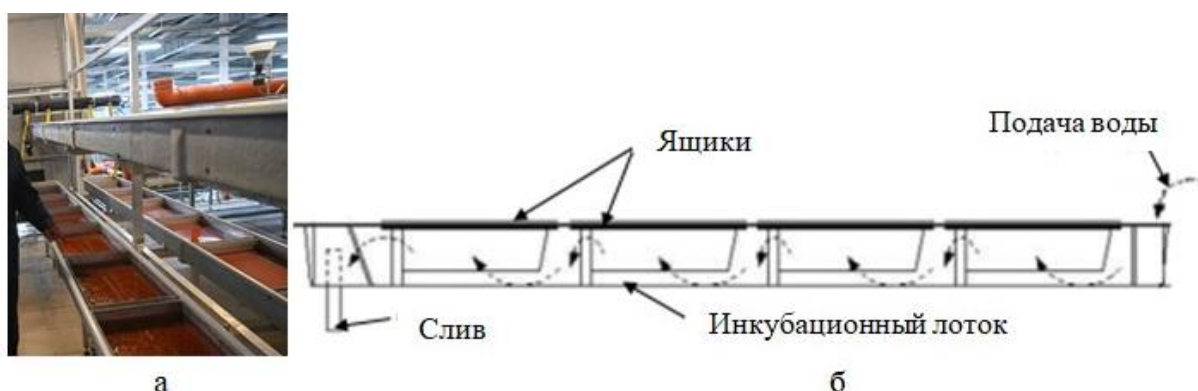


Самые распространенные породы форели: стальноголовый лосось (*Salmo gairdneri*), радужная форель (*Oncorhynchus mikiss*), камлоопс (*Oncorhynchus mykiss kamloops Jordan*), Дональдсона (*Oncorhynchus mykiss Donaldson*). Отличительной чертой перечисленных видов является время нерестового периода. Икру от форели Дональдсона и форели камлоопс можно получить в осенне-зимний период, а от стальноголового лосося и радужной форели в зимне-весенний.

В Республике Татарстан в 2021 г. на рыбноводном комплексе ООО «Биосфера Фиш» был построен завод по выращиванию форели.

В условиях ООО «Биосфер Фиш» инкубация икры проводится в инкубационных аппаратах лоткового типа (см. рисунок). Вода подается в лоток, поочередно переливается через ящики с икрой, сквозь сетчатое дно, омывая икру, поднимается через верхнее боковое окно ящика и перетекает в следующий ящик, после последнего через сливной патрубок вода попадает в коллектор. Затем вода собирается в сумматор, где корректируется температура и с помощью погружного насоса подаётся на орошаемый фильтр. Там происходит дегазация и далее вода самотеком направляется в магистраль, которая распределяет воду по инкубационным лоткам. Скорость водоподдачи в инкубационные лотки составляет 0,2 л/с, скорость подпиточной воды – 0,5 л/с. Объем всего инкубационного аппарата составляет 2 м<sup>3</sup>.

На один лоток размещается 35 тыс. икринок в 1–1,5 слоя в каждом ящике. Время инкубации икры зависит от температуры воды и возраста икринки.



Инкубационный аппарат: а – общий вид; б – схема инкубационного лотка с ящиками

Длина эмбрионов в зависимости от величины икры может колебаться от 10 до 19 мм, масса – от 40 до 100 мг. В процессе выклева температура должна выдерживаться такая же как и при инкубировании икры, а с момента поднятия на плав – не должна превышать 14 °С [1, 2].

По мере роста эмбрионов размеры желточного мешка уменьшаются. Время рассасывания его зависит от температуры воды, и может колебаться от 7 до 30 суток [3, 4].

После того как несколько личинок поднялось на плав, начинают вводить сухие корма. Когда мальки достигают массы 0,2–0,3 г. их размещают в мальковые лотки, где они доращиваются до 15 г.

Температура воды при инкубации и подращивании до 0,3-0,5 г. варьирует от 8 до 10 °С, до 1 г – от 12 до 13,5 °С. Кормление осуществляется кормом Biomar (фракциями 0,4 и 0,5 мм).

В таблице представлена динамика роста форели от момента закладки оплодотворенной икры в инкубатор до массы 1 г.

Как видно из данных таблицы, икра племенного завода Адлер имеет небольшие отличия по массе икры, времени вылупления и перехода на активное питание от икры кампании Vivers.

Таким образом, икра форели племенного завода г. Адлер и компании Vivers (Франция) показала хорошие результаты в условиях ООО «Биосфера Фиш» и по своим характеристикам является перспективной для использования в качестве посадочного материала для производственного выращивания товарной форели при соблюдении благоприятных режимов содержания и кормления.

Рост форели разных пород до массы 1 г

№ поставки	1	5	7	2	3	4	6
Поставщик	Россия, Адлер плем. завод			Франция, Vivers			
Порода	Стальноголовый лосось	Камлоопс	Дональдсона	Радужная форель			
Возраст поставки, градусодни	243	240	236	256	248	241	231
Масса икринки, мг	106	100	109	62	70	80	80
Время до вылупления, сут.	11	12	12	8	7	13	13
Переход на активное питание, сут.	15	21	21	13	15	20	16
Выращивание до 1 г, сут.	41	48	еще растет	49	56	61	40
Итого, сут.	56	69		61	71	81	56

### Источники

1. Цуладзе В.Л. Бассейновый метод выращивания лососевых рыб: на примере радужной форели. М.: Агропромиздат, 1990. 156 с.
2. Титарев Е.Ф. Форелеводство. М.: Пищевая промышленность, 1980. 168 с.
3. Голод В.М. Задачи и пути селекционной работы с радужной форелью в тепловодном рыбоводстве. М.: Изд-во ВНИРО, 2013. 155 с.
4. Титарев Е.Ф. Холодноводное форелеводство. М.: Пищевая промышленность, 2007. 280 с.

УДК 639.3

## МИРОВЫЕ ОБЪЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА АКВАКУЛЬТУРНОЙ ПРОДУКЦИИ КОСТНЫХ РЫБ И РАКООБРАЗНЫХ

Ф.А. Исмагилов<sup>1</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>f9033422551@yandex.ru, <sup>2</sup>kalayda4@mail.ru

Науч. рук. д-р биол. наук, зав. каф. М.Л. Калайда<sup>2</sup>

В работе проведен анализ производства в мире продукции аквакультурных хозяйств, в частности костных видов рыб, а также наиболее значительных видов ракообразных. Особое внимание уделено производству австралийского красноклешневого рака.

**Ключевые слова:** аквакультура, производство, объемы, костные рыбы, ракообразные, австралийский красноклешневый рак.

Аквакультура – это один из секторов экономики, основная деятельность которой культивирование и выращивание аквакультурной продукции, как во внутриконтинентальных водоемах, так и в садковых хозяйствах расположенных в океанах и морях. Основной акцент в аквакультуре делается на рыбоводство. Рыбоводство – разведение и выращивание рыбы в коммерческих целях, являющиеся неотъемлемой частью от целей по удовлетворению потребностей человечества в высококачественной и доступной пищи [1].

Нынешняя мировая обстановка показывает не только увеличение потребления рыбной продукции, но и увеличение в его общем объёме доли аквакультурной продукции. На данный момент продукция аквакультурных хозяйств, постепенно приближается к половине общего объёма от всей рыбной продукции, с увеличением темпов на 7–10 % ежегодно. К примеру: в секторе животноводства ежегодный прирост от общего объёма произведенной продукции не превышает 1–2 %. Если учесть тот факт, что на сегодняшний день численность население планеты превысило 7 млрд человек и в ближайшие годы может вырасти до 10 млрд человек, а также учитывая факт сокращения уловов рыбной продукции из естественных водоемов. Таким образом, аквакультура может занять место одного из главных поставщиков ценных продуктов питания [2].

В наибольших объёмах в аквакультуре добываются и производятся костные рыбы. По данным ФАО [3] производство костных рыб с 2010 по 2018 гг. увеличилось с 37745,1 до 54279 тыс. т. Объёмы ряда видов рыб, наиболее значимых для российского рынка рыбной продукции представлены на рисунке 1.

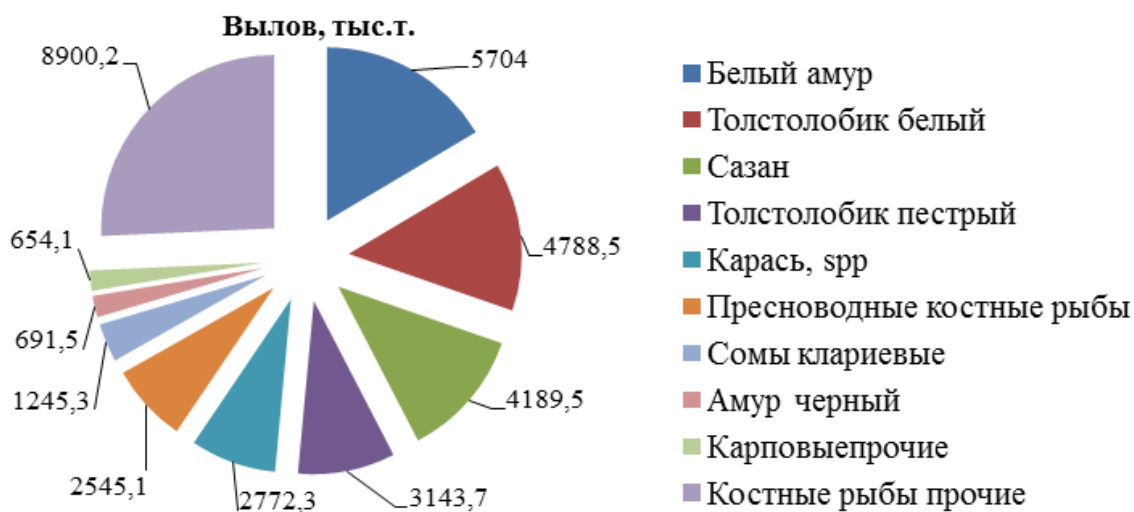


Рис. 1. Уловы основных видов рыб по данным ФАО [3]

Второй группой производимых гидробионтов являются – ракообразные. Производство ракообразных в период с 2010 по 2018 гг. увеличилось с 5478,8 тыс. т. до 9386,5 тыс. т. [3]. Объёмы ряда видов ракообразных представлены на рис. 2.

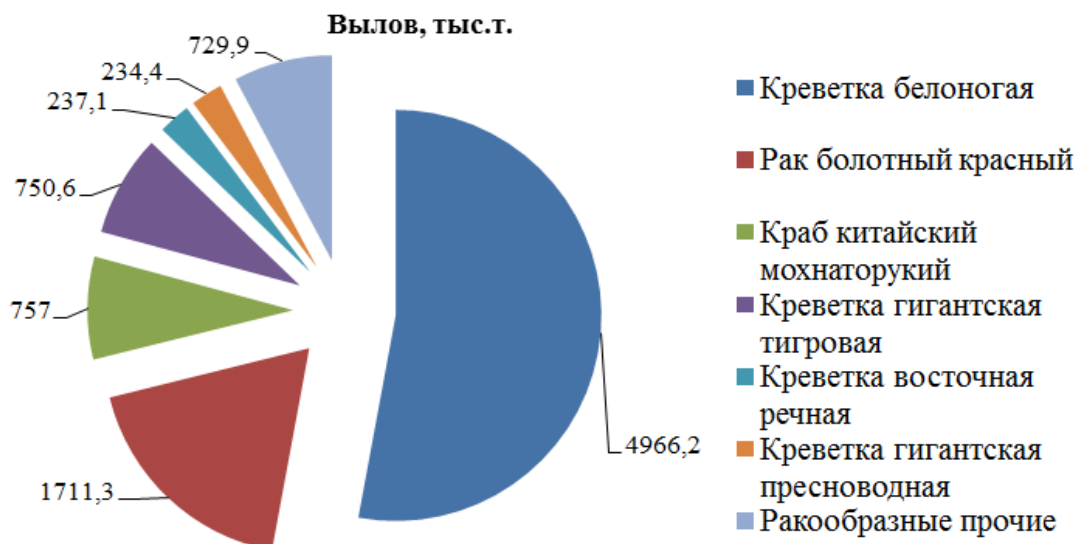


Рис. 2. Ракообразные, производимые в мировой аквакультуре по данным [3]

Особый интерес для выращивания в индустриальных аквакультурных хозяйствах представляет австралийский красноклешневый рак [4, 5]. Этот вид активно осваивается аквакультурными предприятиями в связи с его особенностями: высокими темпами роста, высокой долей деликатесного мяса от массы тела, хорошей выживаемостью в индустриальных хозяйствах. Как видно из данных ФАО, объемы производства красноклешневых раков в настоящее время не выделяются (рис. 2).

Анализ производства продукции в мировой аквакультуре показал, что наиболее перспективны индустриальные методы производства аквакультурной продукции [2, 4–6]. Добыча рыбы в естественных водоемах повсеместно сокращается. Среди наиболее перспективных производств аквакультурной продукции – комплексные производства рыбы и ракообразных.

### Источники

1. Ашарин В. Объемы производства аквакультуры в России будут расти вслед за мировыми тенденциями // Сфера: Рыба. 2017. № 1 (18). С. 40–42.

2. Калайда М.Л., Хазипов Н.Н., Сафиуллин Р.Р., Калайда А.А. Актуальные стратегии в развитии аквакультуры в Республике Татарстан // Водные биоресурсы и аквакультура Юга России: матер. Всерос. науч.-практ. конф., приуроченной к 20-летию открытия в Кубанском гос. ун-те направления подготовки «Водные биоресурсы и аквакультура». Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2018. С. 442-448.

3. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры, 2018 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://aquacultura.org/upload/files/pdf/library/fao/Состояние202018.pdf> (дата обращения 01.03.2022).

4. Kalaida M., Khamitova M., Borisova S. Some features of crustacean cultivation aquabiotechnology on the waters of energy facilities // E3S Web of Conferences 288, 01047 (2021) SUSE-2021.

5. Калайда М.Л., Хамитова М.Ф., Борисова С.Д., Исмагилов Ф.А. Некоторые особенности выращивания ракообразных в аквабиотехнологиях на водах объектов энергетики // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2021. №3(21). С. 9-21.

6. Kalaida M., Borisova S., Piganov E., Ismagilov F., Kalaida A. Improving the biotechnology of growing *Silurus Glanis L.*, *Clarias Gariepinus*, *Pangasius Hypophthalmus* catfish (Siluroidea) in the waters of energy facilities // E3S Web of Conferences 288, 01045 (2021) SUSE-2021.

УДК 639.3

## МЕТОДЫ ХРАНЕНИЯ И КРИОКОНСЕРВАЦИИ СПЕРМЫ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ ВОСПРОИЗВОДСТВЕ АФРИКАНСКИХ КЛАРИЕВЫХ СОМОВ

А.А. Калайда<sup>1</sup>, Е.С. Пиганов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>charict131@gmail.com, <sup>2</sup>kalayda4@mail.ru

Науч. рук. д-р биол. наук, зав. каф. М.Л. Калайда<sup>2</sup>

В тезисе рассмотрены методы хранения и криоконсервации спермы африканских клариевых сомов при искусственном воспроизводстве. Описаны варианты краткосрочного сохранения активной спермы и факторы, влияющие на эффективность долгосрочной консервации, такие как: различные режимы заморозки, хранения, состав криопротектора. Кроме того, рассмотрены методы использования спермы после ее расконсервации для получения результатов, наиболее близких к использованию свежих половых продуктов.

**Ключевые слова:** Африканский клариевый сом, искусственное воспроизводство, криоконсервация спермы, хранение половых продуктов.

Производство африканского клариевого сома является одним из наиболее активно развивающихся направлений мировой аквакультуры [1]. В силу биологической специфики данного вида, он обладает огромным аквакультурным потенциалом. Однако, для массового развития фермерских хозяйств, занимающихся товарным выращиванием клариевого сома в России, существует ряд затруднений. Одно из них – ограниченная доступность посадочного материала, что обусловлено особенностями вида и недостаточным развитием биотехнологий искусственного воспроизводства.

Большие затруднения вызывает разработка технологии прижизненного получения половых продуктов самцов африканского клариевого сома. Данный аспект не только значительно увеличивает требования к численности маточного стада самцов, но и препятствует полноценному вовлечению самцов в процесс селекционной работы с видом. Одним из методов, которые могут частично компенсировать упомянутые проблемы, является криоконсервация спермы.

Работы по изучению возможностей криоконсервации применительно к целям аквакультуры производились уже неоднократно, особенно по лососевым видам рыб. Основными факторами успешной криоконсервации являются правильный подбор криопротектора и режима заморозки. Исследования технологий криоконсервации применительно к африканскому клариевому сому производились в Университете Вагенингена (Нидерланды) [2].

По результатам исследования наилучшие результаты были получены при использовании в качестве криопротектора 10 % раствора метанола. Наиболее эффективными режимами заморозки являлись методы, при которых сперма замораживалась со скоростью  $-5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  до  $-45-50^{\circ}\text{C}$  и  $-10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  до  $-55^{\circ}\text{C}$ . Также применялась трехступенчатая программа заморозки, при которой образцы сначала замораживаются со скоростью  $-5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ , после чего выдерживаются 2–5 минут при стабильной температуре перед быстрой заморозкой жидким азотом. Наиболее продуктивными методами трехступенчатой заморозки оказались плавная заморозка до  $-35^{\circ}\text{C}$ , с выдержкой в 5 минут и плавная заморозка до  $-40^{\circ}\text{C}$  с выдержкой в 10 минут. Кроме того были изучены варианты разбавления размороженной спермы и влияние разбавления на выклев икры. Наиболее эффективным оказалось разбавление 1:200.

По данным исследования, при использовании методик, отмеченных выше как наиболее эффективные, процент выклева из икры, оплодотворенной размороженной спермой, отличался от процента выклева при использовании свежей спермы не более чем на 5 %. Этот результат после проведения лабораторных экспериментов, был также подтвержден при оплодотворении в условиях рыбоводного предприятия для методики заморозки в 10 % метаноле при  $-5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  и разбавлении после разморозки 1:200.

При экспериментах, для объективного сравнения результатов криоконсервации, применялась методика частичного удаления гонад хирургическим методом с сохранением жизни производителя. Успешное применение подобной методики описано в работе [3] БГАУ (Белгород). По этим данным самцы хорошо переносят требуемое хирургическое вмешательство, а гонады самцов способны к ограниченной регенерации и сохранению работоспособности после частичного удаления (см. рисунок).

Методы криоконсервации могут значительно облегчить работы по искусственному воспроизводству африканского клариевого сома при товарном производстве.



а

б

Регенерация гонады самца: а – полноценные гонады клариевого сома;  
б – гонады после частичного удаления

Описанные методики при совместном применении позволяют неоднократно использовать самцов африканского клариевого сома для целей искусственного воспроизводства при условии снижения количества спермы, получаемой от каждого самца. В то же время, как показано на рисунке, возможности регенерации ограничены, количество спермы при последующих получениях будет снижаться, и разработка методов прижизненного получения молок без хирургического вмешательства остается актуальной и перспективной как для селекционной работы, так и для товарного производства.

Работа проводилась в рамках гранта «Разработка технологии товарного выращивания клариевого сома в малых установках замкнутого водоснабжения».



## Источники

1. ФАО. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры – 2020. Меры по повышению устойчивости. Рим: ФАО. 2020. 223 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.4060/ca9229ru> (дата обращения 01.02.2022).

2. Viveiros A.T.M., So N., Komen J. Sperm cryopreservation of African catfish, *Clarias gariepinus*: cryoprotectants, freezing rates and sperm: egg dilution ratio // *Theriogenology*. 2000. №54. P.1395–1408.

3. Романова Е.М., Романов В.В., Мухитова М.Э., Любомирова В.Н., Шленкина Т.М. биология воспроизводства *Clarias gariepinus* (Burchell,1822) в высокотехнологичной индустриальной аквакультуре // Биотехнологии и инновации в агробизнесе: Матер. межд. науч.-прак. конф. Майский, 2018. С. 351-359.

УДК 639.3

## КИСЛОРОДНЫЙ РЕЖИМ САДКОВОГО РЫБОВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА НА ПРУДУ СЕЛА АБДИ (Р.НЫСЕ) В ТЮЛЯЧИНСКОМ РАЙОНЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Д.В. Пенкин, М.Ф. Хамитова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
it-sk@bk.ru

Данная работа является исследованием особенностей кислородного режима в садках рыбного хозяйства расположенного на пруду села Абди (р. Нысе) в Тюлячинском районе Республики Татарстан за вегетационный сезон 2021 г.

**Ключевые слова:** садковое рыбное хозяйство, концентрация кислорода в воде, заморы, аэрация.

От концентрации растворенного в воде кислорода зависят состояние и рост выращиваемых рыб, а так же успешность их зимнего содержания. Количество кислорода в воде может изменяться в течение суток, зависит от сезона года и ряда других факторов. Так в дневные часы, когда в водоеме происходят процессы фотосинтеза, его больше, максимум достигается к концу светового дня. Наименьшее его содержание отмечается в предутренние часы, что связано с отсутствием фотосинтеза в ночное время и расходом кислорода на дыхание гидробионтов [1].

Разные виды рыб имеют различные пороговые концентрации кислорода. Так, пороговые значения кислорода для промысловых видов рыб составляют: карп – 1,0–1,43 мг/л; карась – 0,1–0,13 мг/л; плотва – 0,1–0,43 мг/л; линь – 0,43–0,14 мг/л; осетр – 1,43–1,85 мг/л; севрюга – 1,86–2,43 мг/л; стерлядь – 3,43 мг/л [2].

В жаркие безветренные летние ночи на некоторых водоемах (пруды, мелкие озера) вследствие снижения содержания кислорода возможны заморы, приводящие к массовой гибели рыб [1].

Исследование кислородного режима садкового хозяйства на пруду села Абди (р. Нысе) Тюлячинского района Республики Татарстан проводилось в период с 17 мая по 07 сентября 2021 г. Измерение концентрации растворенного кислорода и температуры воды проводилось с помощью анализатора «САМАРА-2». Индикация результатов измерения концентрации кислорода осуществляется в мг/л и в % насыщения, температуры в °С.

Измерение производилось в садках в утренний период. Глубина измерения – 1 м. Динамика содержания концентрации кислорода в водоеме в утренние часы показана на рис. 1.



Рис. 1. Динамика содержания концентрации кислорода в воде на садках

Как видно из графиков, в утренние часы наблюдалось снижение кислорода до критических для осетровых рыб концентраций 3,5 мг/л (28 июня 2021 г). Постепенное сокращение концентрации кислорода в садках связано с ростом рыбы и увеличением суточных доз кормления, кроме того растворимость кислорода в воде на прямую зависит от температуры. Так наименьшие концентрации кислорода в течение периода выращивания наблюдались при максимальных температурах. Динамика изменения среднедневной температуры воды в водоеме указана на рис. 2.



Рис. 2. Динамика изменения средневенной температуры воды в садках

В связи с недостаточной проточностью в водоеме для повышения концентрации кислорода в садках и предотвращения заморов рыбы с 28 июня 2021 г. вблизи садковой линии был запущен аэратор «Поток Универсал» – 1,5 кВт (рис. 3), используемый зимой для предотвращения промерзания садковой линии [3]. Аэратор способен подавать поток аэрированной воды на глубину до 2–2,5 м, регулируемая за счет изменения угла наклона двигателя (рис. 3).



Рис. 3. Аэратор на пруду с. Абди в районе размещения садковой линии

С начала эксплуатации данного аэратора удалось добиться стабильных показателей растворенного кислорода в утренние часы и поддержание их в рамках оптимальных значений: более 5–6 мг/л [4].

Для снижения рисков возникновения замора рыбы в садках в жаркий и безветренный летний период, 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.

### **Источники**

1. Рыжков Л.П., Кучко Т.Ю., Дзюбук И.М. Основы рыбоводства: учебник. СПб: Издательство «Лань», 2011. 528 с.
2. Козлов В.И. Никифоров-Никишин А.Л. Бородин А.Л. Аквакультура: учебник для вузов. М.: КолосС, 2006. 445 с.
3. Пенкин Д.В., Хамитова М.Ф. Особенности кислородного режима пруда с. Абди (р. Нысе) в Тюлячинском районе Республики Татарстан матер // Межд. молод. науч. конф. Тинчуринские чтения. Казань, 2021. Т. 2. С. 436-439.
4. Александров С.Н. Садковое рыбоводство. М.: АСТ; Донецк: Сталкер, 2005. 270 с.

УДК 639.3.05

## **ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОД ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ КАРПОВ КОИ В ВОДОЕМЕ КОМПЛЕКСНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

И.В. Пенкина, М.Ф. Хамитова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
ireneri@mail.ru

В работе проведено гидрохимическое обследование водоема комплексного назначения в районе с. Абди Тюлячинского района Республики Татарстан. Проведен анализ полученных данных в сравнении с рекомендациями для прудовых рыбоводных хозяйств, оценка пригодности водоема для выращивания карпа Кои.

**Ключевые слова:** карп Кои, прудовое рыбоводство, гидрохимия.

Исследование гидрологических характеристик водных объектов является важной задачей при определении потенциала их хозяйственного использования. Особое значение это имеет для водоемов комплексного назначения (ВКН) при их рыбохозяйственном использовании.

Карп кои – эффективный объект аквакультуры для комплексного использования – от рыбалки до декоративных целей. В связи с ростом спроса на декоративную рыбу, карп кои получил широкое распространение во всем мире.

«Вода – основной фактор жизнеобеспечения рыб» [1]. Во многих исследованиях для эффективного выращивания рыбы в прудах особое значение уделяется качеству воды [2], исследуется экологическая безопасность водных объектов, ведется поиск и изучаются биологические механизмы экотехнологий [3], определяется роль биоты в самоочищения воды [4].

Исследование водоема у с. Абди на р. Нысе проводилось летом 2019 г. Данный водоем по генезису относится к малым водоемам комплексного назначения (до 50 га). В соответствии с типизацией ВКН пруд относится к пойменным водоемам с водопитанием 1-го типа – за счет вод малых рек и непересыхающих ручьев. Водоемы имеет хорошо выраженную литораль.

Водоем относится к водосборной площади р. Нысе (Кыса). В соответствии с данными гидрографического справочника «Водные объекты Республики Татарстан» (2018) река Нысе (Кыса) впадает в левый берег р. Меша, общая длина водотока – 22,2 км, имеет 5 притоков длиной менее 5 км, общая длина которых составляет 8,6 км.

Максимальные глубины отмечены у плотины и составили около 9,0 м. Средняя глубина водоема составляет 3,0–3,5 м.

Исследование состава вод пруда проводилось в весенний период 2021 г. Пробы отбирались в приплотинной части водоема в марте из подо льда и в конце апреля после ледохода. Анализ проб на основные гидрохимические показатели проводился на базе лаборатории ЦСИАК МЭПР РТ. Для оценки полученных результатов использовался ОСТ 15-247-81 Вода для рыбоводных хозяйств. Общие требования и нормы.

Оптимальное содержание растворенного кислорода по ОСТ 15-247-81 составляет 6–8 мг/л, максимально допустимое понижение к утру не менее – 2,0 мг/л. Показатели кислорода в воде пруда с. Абди даже в период ледостава составляли не менее 2,1 мг/л.

Оптимальное значение рН составляет 7–8,5 ед., максимально допустимое кратковременное значение – 6,5–9,5 ед. Показатели рН в воде пруда с. Абди варьировали от 7,0 до 7,9 ед.

В соответствии с ОСТ 15-247-81 концентрация азота должна составлять – 1,0 мг/л, и не превышать – 2,5 мг/л, для нитратов оптимальная концентрация не должна превышать 1 мг/л, кратковременно допускается до 3 мг/л, пороговое значение для нитритов составляет – 0,2 мг/л, оптимальная концентрация – 0,08 мг/л [1, 3]. Азотистые соединения в воде пруда с. Абди не превышали нормативов и составляли: азот аммонийный – 0,184 мг/л, нитраты – 2,74–6,82 мг/л, нитриты – 0,037–0,078 мг/л.

Азотосодержащие вещества попадают в водоемы в результате сброса сточных вод хозяйственно-бытовых, промышленных и сельскохозяйственных предприятий. Среди соединений азота нитратный и аммонийный азот имеют биопродуктивное значение, а нитритный азот – токсикологическое [5].

Также в воде рыбоводных прудов из биогенных веществ контролируется концентрация фосфатов, оптимальное содержание составляет 0,1 мг/л, максимально допустимое кратковременное значение – 0,5 мг/л. В воде пруда с. Абди концентрация фосфатов в марте составила – 0,0530, в апреле – 0,417 мг/л.

Содержание железа общего в пруду с. Абди составляло 0,0162–0,179 мг/л при оптимальной концентрации не более 1,8 мг/л.

Железо в природных водах встречается в закисной или окисной формах, высокие концентрации железа, в 2–3 раза превышающие оптимальные, оказывают токсическое действие на рыб. Значительное содержание закисного железа может вызвать падение количества кислорода в воде. Соединения трехвалентного железа оседают в жабрах рыб, нарушая их дыхание, что может привести к заморам [6].

В анализируемой литературе имеются сведения о необходимости проводить анализ на содержание в воде тяжёлых металлов, нефтепродуктов и пестицидов, особенно в регионах с повышенной антропогенной нагрузкой и нестабильной экологической ситуацией. Предельно-допустимая концентрация в воде нефти и нефтепродуктов в эмульгированном состоянии для водоемов рыбохозяйственного назначения должна быть не более 0,05 мг/л, марганца – 0,01 мг/л, меди – 0,001 мг/л, никеля – 0,01 мг/л, алюминия – 0,04 мг/л, цинка – 0,01 мг/л.

В обследованном пруду концентрация нефти и нефтепродуктов в воде составила 0,029 мг/л, марганца – 0,01 мг/л, меди – менее 0,0005 мг/л, никеля – менее 0,005 мг/м<sup>3</sup>, алюминия – менее 0,04 мг/л, цинка – менее 0,004 мг/л.

Проведенный анализ показал незначительное превышение рекомендованных показателей по нитратам и фосфатам, что может свидетельствовать о сельскохозяйственной деятельности в районе размещения пруда. В целом по рассмотренным показателям водоем можно оценить пригодный для выращивания в нем карпов Кои.

### **Источники**

1. Мишанин Ю.Ф. Вода – как основной фактор жизнеобеспечения рыб // Матер. Межд. науч.-тех. конф. Краснодар, ФГБОУ «КГТУ», 2012. С. 40.
2. Семькина А.С. Исследование качества воды пруда для разведения рыбы // Состояние и пути развития аквакультуры в РФ в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны: матер. 11 Нац. научн.-практ. конф. СПб. 2017. С. 141-144.

3. Неверова-Дзиопак Е.В. Об экологической безопасности водных объектов // Современные проблемы науки и образования. 2012. №3.

4. Остроумов С.А. Роль биоты в экологических механизмах самоочищения воды. М.: Макс Пресс. 2016. 124 с.

5. Вошкин А.Г. Эффективность использования естественной кормовой базы прудов двухлетками карпа при контроле гидрохимических показателей воды: автореф. ... дис. канд. с-х наук: 06.02.10. Майский, 2020. 22 с.

6. Привезенцев Ю.А. Интенсивное прудовое рыбоводство. М.: Агропромиздат, 1991. 368 с.

УДК 639.3

## РЕГУЛЯЦИЯ УРОВЕННОГО РЕЖИМА КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ПОЛОВЫХ ПРОДУКТОВ У КЛАРИЕВЫХ СОМОВ

Е.С. Пиганов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

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

Науч. рук. д-р биол. наук, зав. каф. М.Л. Калайда

В статье рассмотрены экологические факторы при получении половых продуктов у производителей клариевых сомов методами искусственного воспроизводства. Особенное внимание уделено изменению уровня режима в установках замкнутого водообеспечения (УЗВ).

**Ключевые слова:** клариевый сом, УЗВ, методы воспроизводства, искусственный субстрат, нерестилища.

Для успешного искусственного воспроизводства рыб, необходимо знание оптимальных условий окружающей среды в период созревания гонад, которые различны у разных видов. И даже у одного вида рыб могут быть различия в экологии нереста и времени созревания гонад. У ряда проходных видов рыб имеются как с осенне-зимним так и весенне-летним заходом в реки на нерестилища для нереста. Этот пример говорит о высокой значимости знания экологических факторов при экологическом методе воспроизводства рыб [1]. Особенно важно знать в отношении интродуцированных видов, активно используемых в индустриальных рыбоводных хозяйствах на базе установок с замкнутым циклом водоснабжения с контролируемыми параметрами среды. К таким объектам относится африканский клариевый сом (*clarias gariepinus*).

В настоящее время для искусственного воспроизводства рыб используют 3 метода: экологический метод, физиологический метод и комбинированный метод (эколого-физиологический метод).

При экологическом методе воспроизводства производителей выдерживают в бассейнах до полного созревания гонад, создавая максимально благоприятные близкие к естественным условия содержания самок и самцов. При использовании физиологического метода проводят стимулирование созревания гонад у рыб путём введения гормона гипофиза или его заменителей производителям с половыми продуктами в IV-й стадии зрелости гонад, ускоряя их созревание [1, 2]. При комбинированном методе используются некоторые факторы среды для стимулирования созревания гонад и инъекции суспензией гипофиза или его заменителей для получения половых продуктов.

При организации экспериментального воспроизводства клариевых сомов на базе УЗВ кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» исследовался экологический фактор – изменение уровня режима. Этот фактор характерен для водоемов в период естественного воспроизводства клариевых сомов [3, 4].

Для эксперимента по получению половых продуктов регуляцией уровня режима были отобраны производители клариевых сомов - две самки и один самец, характеристики которых представлены в таблице.

Показатели производителей клариевого сома

Показатели	Самки ♀		Самец ♂
	643110800289601	900217000226399	
№ чипа	643110800289601	900217000226399	
Масса, г	4850	2315	2100
Абсолютная длина, см.	94	73	67,5
Промысловая длина, см	85	65	61,0
Обхват, см.	33,5	27	27,1
Высота тела, см	9,5	7,5	7,9
Ширина тела, см	11,5	8,5	8,2
Ширина головы, см	13	9,5	9,7

Для эксперимента использовался бассейн №1 в УЗВ, в котором было размещено искусственное нерестилище. Температура воды – комнатная +23°C.



Самки и самец были отсажены в бассейн с уровнем воды 30 см. Бассейн был переведен в режим отсутствия циркуляции воды. В течение вторых суток уровень воды был опущен на 5 см. Затем в течение еще 4 суток уровень понижался до 20 см. В следующие сутки был резко поднят уровень воды до 35 см и бассейн подключен к системе циркуляции воды.

Проведение осмотра искусственного субстрата и бассейна в следующие сутки выявило наличие икры, которая не развивалась. Самка с номером чипа 900217000226399 отдала икру 395,5 г, что составило 17 % от ее массы тела. Средняя масса икринок составила 2 мг. Рабочая плодовитость самки массой 2315 г. Составила 198 тыс. шт. Самка с номером чипа 643110800289601, которая характеризовалась большей массой тела и была старше на 1 год в сроки эксперимента не отдала икру. Самец на изменение уровня режима не отреагировал участием в нересте с созревшей самкой.

Таким образом, проведенный эксперимент по оценке возможности стимулирования производителей экологическим фактором изменения уровня режима в бассейне показал:

- изменение уровня режима в бассейне может стимулировать созревание икры у самок в условиях комнатной температуры;
- самки старшего возраста (более 3 лет) не успевают созреть до текущей стадии без повышения температуры воды;
- самец не отреагировал на изменение уровня режима участием в нересте.

### Источники

1. Калайда М.Л. Биологические основы рыбоводства: учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2013. 151 с.
2. Кучко Т.Ю. Методы получения половых продуктов от производителей рыб: учеб. пособие для студентов эколого-биологического и агротехнического факультетов. Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2015. 63 с.
3. Калайда М.Л., Пиганов Е.С. Калайда А.А., Хамитова М.Ф. Клариевый сом *clarias gariepinus* при задачах искусственного воспроизводства // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации: матер. 5 нац. науч.-практ. конф. Саратовский ГАУ, 2020. С. 5.
4. Калайда М.Л., Борисова С.Д., Пиганов Е.С., Исмагилов Ф.А., Калайда А.А. Совершенствование биотехнологии выращивания сомов(*Siluroidea*) – *Silurus Glanis*L., *Clarias Gariepinus*, *Pangasius Sutchi* на водах объектов энергетики // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2021. Вып. 2 (20). 5 с.

## ЗООПЛАНКТОН ВОДОЕМА ПАРКОВОЙ ЗОНЫ «ОЗЕРО ХАРОВОЕ»

А.В. Платонова<sup>1</sup>, М.Ф. Хамитова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1</sup>platonovasasa047@gmail.com

В работе описаны результаты сезонного и многолетнего мониторинга (2011-2019гг.) зоопланктонного сообщества водоема урбанизированной территории в парковой зоне «Озеро Харовое». Обследование выявило нестабильность биоценоза вызванную антропогенным воздействием.

**Ключевые слова:** «Озеро Харовое», зоопланктон, сезонная динамика, многолетняя динамика.

Водоем является остатком водно-болотной территории р. Казанка, на которой сейчас располагаются жилые, общественные, образовательные и муниципальные строения Кировского района г. Казани [1,2]. Площадь водоема составляет 1 га, максимальные глубины 3,5 м. Источниками водопитания водоема являются грунтовые, дождевые и талые воды [3].

Материалом для работы послужили пробы зоопланктона, отобранные в водоеме парковой зоны «Озеро Харовое» в рамках гидробиологической практики студентов каф. ВБА ФГБОУ ВО «КГЭУ».

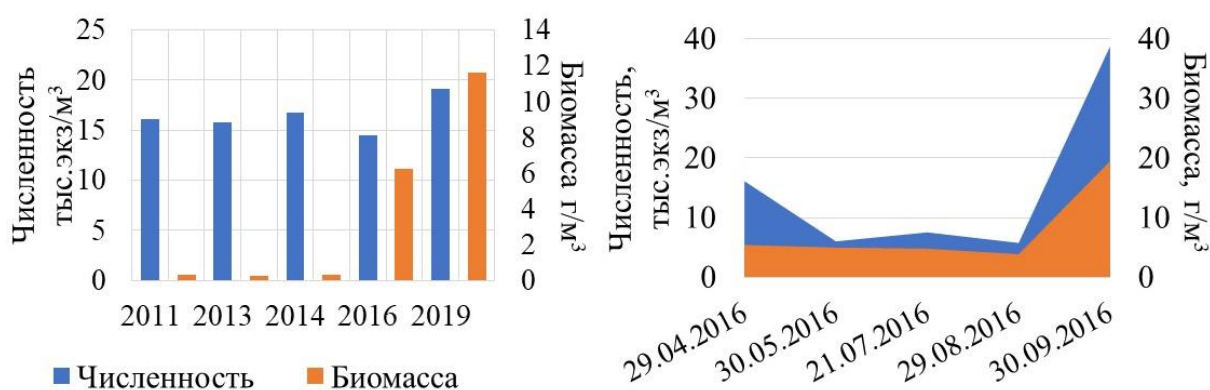
Пробы отбирались с 9 станций в июле 2011, 2013, 2014 гг., на протяжении сезона с апреля по сентябрь 2016 г и в июне и июле 2019 г.

За весь период наблюдения за водоемом в парковой зоне «Озеро Харовое» были выявлены 50 видов и форм зоопланктеров: в 2011 г. – 14, 2013 г. – 17, 2014 г. – 16, 2016 г. – 39 и в 2019 г. – 27 видов и форм. Следует отметить, что значительная разница в количестве встреченных видов и форм связана с количеством съемок за год.

Исследование в течение вегетационного сезона 2016 г. показало что, число видов и форм и показатели состояния зоопланктона в течение сезона значительно меняются, так за 2016 г. число видов варьировало от 14 в июле до 24 в августе. Всего в составе зоопланктона выявлено 39 видов и форм зоопланктеров, из которых коловраток – 8, ветвистоусых ракообразных – 10, веслоногих ракообразных – 11 и 10 прочих видов и форм.

Соотношение основных групп зоопланктона водоема за период наблюдений составило: коловраток – 28 %, ветвистоусых – 42 %, веслоногих – 30 %. Сезонная съемка показала смену преобладающих групп в течение сезона: в апреле преобладали веслоногие рачки, в мае, июне и сентябре – ветвистоусые рачки, в августе – коловратки.

В летние месяцы последних лет численность зоопланктона оставалась примерно на одном уровне, а биомасса значительно выросла (рис. 1). Среднесезонная численность зоопланктеров в 2016 г. составила 14843 экз./м<sup>3</sup>, среднесезонная биомасса – 7,7 г/м<sup>3</sup>. Наибольшие численность и биомасса отмечались в сентябре (38740 экз./м<sup>3</sup> и 19,4 г/м<sup>3</sup>), наименьшие – в августе (5770 экз./м<sup>3</sup> и 3,9 г/м<sup>3</sup>) (см. рисунок).



Численность (экз./м<sup>3</sup>) и биомасса (г/м<sup>3</sup>) зоопланктона водоема

С 2011 по 2014 гг. в летние месяцы доминирующими видами, как по численности, так и по биомассе в были ветвистоусые рачки *Scapholeberis mucronata* (O.F. Muller, 1785) и *Chydorus sphaericus* (O.F. Muller, 1785) [4].

В 2016 г. картина менялась в течение сезона, в апреле в составе зоопланктона доминировали веслоногие ракообразные, в мае – ветвистоусые ракообразные, (*Simocephalus vetulus* (Muller, 1776) и *Bosmina longirostris* (Muller, 1785)), в июле значительный вклад в общую биомассу вносили планктонные стадии личинок хирономид, в августе по численности преобладали коловратки (*Testudinella patina* (Herman, 1783) и веслоногие ракообразные, основу биомассы составляли прочие виды и формы (*Chironomus plumosus* (Linnaeus, 1758) и *Caenis macrura* (Stephens, 1835)), в сентябре по численности и биомассе в составе зоопланктона доминировали ветвистоусые ракообразные (*Daphnia longispina* (Muller, 1785)).

Большинство исследователей для анализа качества вод в настоящее время используют информационный индекс видового разнообразия Шеннона в модификации Вильма и Дорриса. На протяжении исследований по данным июльских съемок по индексу видового разнообразия Шеннона воды водоема оценивались как «умеренно загрязненные» и «чистые» в 2019г. В целом по этому параметру состояние водоема улучшается. В течение сезона 2016 г. индекс Шеннона сильно варьировал и характеризовал воды от «грязных» до «чистых».

В условиях антропогенного загрязнения качество вод лучше отражает не индекс видового разнообразия, а его коэффициент вариации [5]. В связи с этим нами были рассчитаны не только индексы видового разнообразия, но и были определены коэффициенты вариации ИВР. По данным 2011, 2013 и 2014 гг. и двух съемок 2019 г. эти показатели были очень низкими и не превышали 3 %, тогда как по материалам сезонной съемки 2016 г. коэффициент вариации составил 30,3 % по численности и 39,3 % по биомассе зоопланктона. В районах сбросов промышленных стоков коэффициент вариации ИВР зоопланктона составляет 36,91–47,88 %, а на контрольных участках – 5,41–13,88 % [6]. Из этого можно сделать вывод, что биоценоз водоема парковой зоны не стабилен и испытывает на себе постоянный антропогенный прессинг, который возможно оценить только при мониторинге водоема в течение всего вегетационного сезона.

### **Источники**

1. Хамитова М.Ф., Бабинова В.В. Фитопланктон водоема парковой зоны «Озеро Харовое» Республики Татарстан // Сб. науч. тр. молодых ученых III Республ. Молод. экол. науч. конф. Казань: Издательство АН РТ, 2018. С. 53-59.
2. Экологический паспорт водного объекта «Озеро Харовое по ул. Яруллина Кировского района г. Казани». Казань, 2007. 37 с.
3. Хамитова М.Ф., Гатауллина Р.З. Оценка качества вод водоема парковой зоны «Озеро Харовое» в г. Казани по индексу Y // Материалы докладов XIII Междунар. молод. науч. конф. «Тинчуринские чтения». Казань: КГЭУ, 2018. Т. 2. С. 61-63.
4. Хамитова М.Ф., Хабибуллин Р.Ф. Декоративные аквакультурные зоны в парках городов и районных центров – перспективное направление природопользования в Республике Татарстан // Сб. науч. тр. молодых ученых. Казань: Издательство АН РТ, 2016. С. 104-113.

5. Калайда М.Л. Экологическая оценка Куйбышевского водохранилища в условиях антропогенного воздействия. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2003. 135 с.

6. Хамитова М.Ф., Ахмерова Л.Р., Ислямова А.А., Исмагилов Ф.А. К оценке качества вод по гидробиологическим показателям: сборник науч. трудов молодых ученых (по матер. II Республ. молод. экол. науч. конф.). Казань: Изд Академии наук РТ, 2016. С. 95-103.

УДК 639.3

## ВЫРАЩИВАНИЕ МОЛОДИ КАРПА КОИ В УСТАНОВКЕ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ

А.В. Платонова<sup>1</sup>, М.Ф. Хамитова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1</sup>platonovasasa047@gmail.com

В работе описаны результаты выращивания карпа Кои в установке замкнутого цикла водообеспечения на кафедре ВБА ФГБОУ ВО «КГЭУ».

**Ключевые слова:** карп Кои, установка замкнутого цикла водообеспечения, динамика роста, выживаемость, кормовой коэффициент.

Карпы Кои или парчовый карп – декоративные одомашненные рыбы, выведенные из амурского подвида (лат. *Cyprinus carpio haematopterus*) сазана (*Cyprinus carpio*). В настоящее время в Японии существует много разновидностей Кои, но из них за стандарт принято считать только четырнадцать цветных форм и раскрасок [1].

В данный момент селекцией и активным получением карпов Кои занимается в Китае, Японии, Сингапуре и Малайзии. Выращивание и разведение проводится преимущественно на базе прудовых хозяйств.

На Российском рынке карп Кои приобрел в последние годы особую популярность, основной спрос на декоративную рыбу наблюдается в весенний период под выпуск в декоративные пруды [2]. В нашем регионе получение молоди карпа в прудовом хозяйстве занимает не меньше года [3]. С этих позиций особый интерес представляет получение и подращивание молоди карпа Кои в условиях УЗВ в более короткие сроки.

Нами проведено исследование особенностей выращивания молоди карпа Кои в условиях установки замкнутого цикла водообеспечения на кафедре ВБА ФГБОУ ВО «КГЭУ».

Установка состоит из 2 емкостей объемом 1000 л и 4 экспериментальных лотков объемом 75 л. Водоочистка включает в себя механическую фильтрацию, биологический фильтр объемом 200 л, УФ-стерилизатор. Ток воды обеспечивается 2 погружными насосами общей производительностью 240 л/час. Молодь карпа выращивалась в экспериментальных лотках со скоростью водооборота 5 раз в час. Одновременно в установке в емкостях объемом 1000 л выращивались гибриды осетровых рыб.

Для подращивания использовалась молодь карпов Кои полученная с помощью искусственного воспроизводства 10 августа 2021 г, в возрасте одного месяца молодь была рассортирована на 4 размерных группы и посажена в экспериментальные емкости. В первую емкость посадили группу со средней массой 10 мг при плотности посадки 8,3 тыс. шт./м<sup>3</sup> (0,083 кг/м<sup>3</sup>), во вторую ёмкость – 20 мг при плотности посадки 9,6 тыс. шт./м<sup>3</sup> (0,192 кг/м<sup>3</sup>), в третьей емкости – 40 мг при плотности посадки 3,2 тыс. шт./м<sup>3</sup> (0,128 кг/м<sup>3</sup>), в четвертой емкости 250 мг при плотности посадки 1,5 тыс. шт./м<sup>3</sup> (0,378 кг/м<sup>3</sup>), период выращивания составил 3 месяца. Раз в неделю проводились контрольные обловы для определения средней массы молоди. Кормление производилось кормами фирмы Sorpens, марки SUPREME-21, суточный рацион внесения кормов рассчитывался в зависимости от рекомендаций производителя корма, корректировка кормления проводилась после каждого контрольного замера.

Конечная масса молоди через три месяца выращивания составила: в первой емкости – 557 мг, во второй емкости – 927 мг, в третьей емкости – 1680 мг, в четвертой емкости – 3037 мг. Изменения средней массы молоди в экспериментальных емкостях в течении эксперимента представлены на рис. 1.

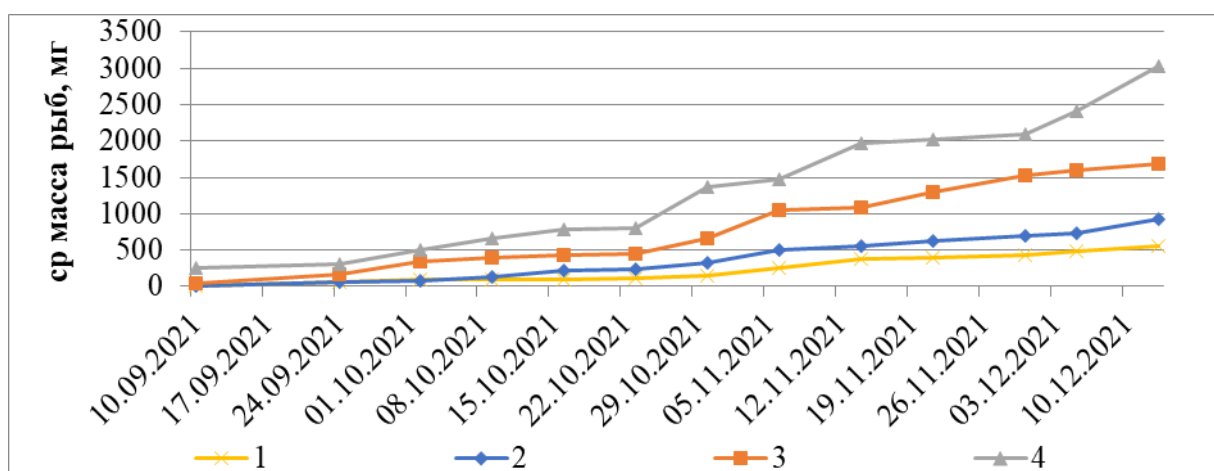


Рис. 1. Графики роста молоди в экспериментальных емкостях

Как видно из рис. 1 темпы роста молоди изменялись в разных группах в зависимости от стартовой массы. Среднесуточный прирост за период исследования составил в первой емкости – 5,9 мг, во второй емкости – 9,8 мг, в третьей емкости – 17,6 мг, в четвертой емкости – 30 мг. В связи с тем, что изначально молодь одного возраста была рассортирована по размерным группам для сравнения темпов роста нами были рассчитаны среднесуточные приросты в сопоставимые периоды роста (в течении месяца от 250 мг): в первой емкости этот показатель составил – 7,7 мг, во второй емкости – 11 мг, в третьей емкости – 11,4 мг, в четвертой емкости – 13,6 мг.

Выживаемость молоди в экспериментальных емкостях варьировало от 60,3 до 79,8 %. График выживаемости молоди представлен на рис. 2.

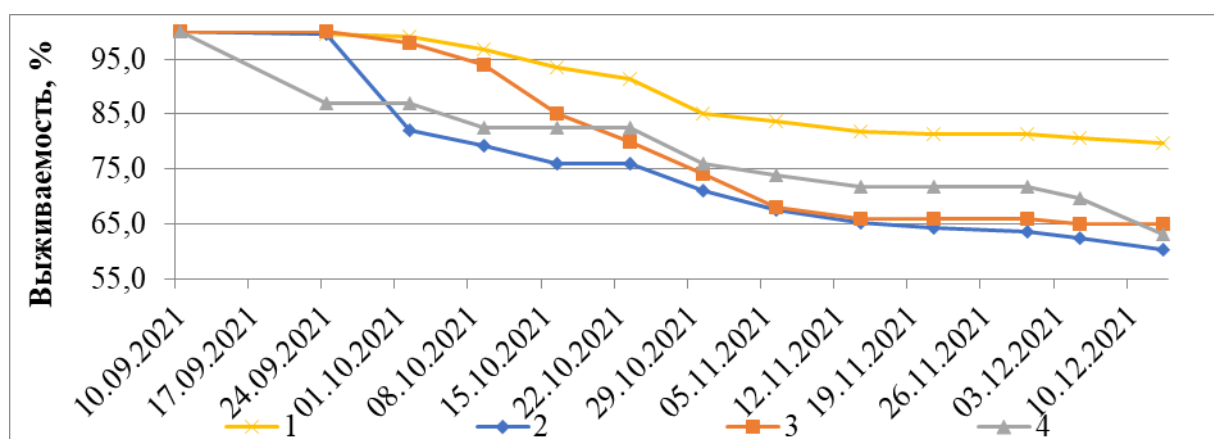


Рис. 2. График выживаемости молоди в экспериментальных емкостях

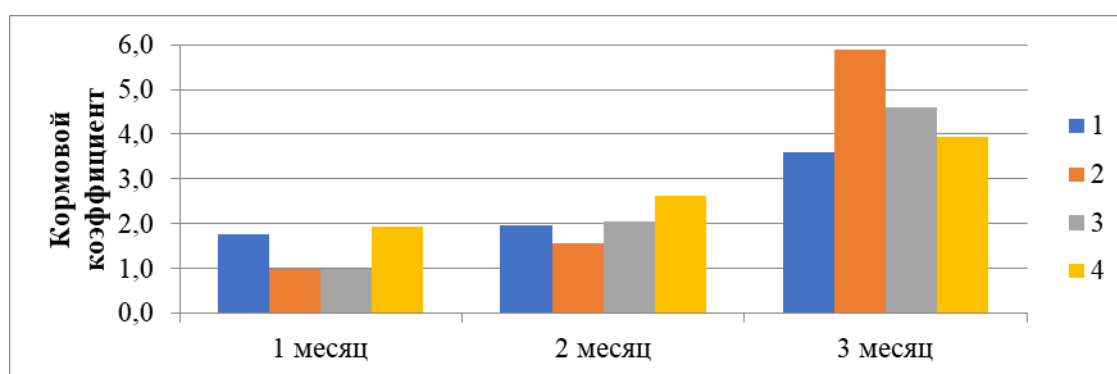


Рис. 3. Значение кормовых коэффициентов в экспериментальных емкостях

Затраты кормов за период исследования в экспериментальных емкостях варьировали от 2,4 до 2,9 кг на 1 кг прироста массы. Как видно на рис. 3 за период исследования с увеличением массы рыбы кормовые коэффициенты росли.

### **Источники**

1. Бристольское общество аквариумистов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.bristol-aquarists.org.uk/index>. (дата обращения 2.03.2022).

2. Калайда М.Л., Хамитова М.Ф. Проект .повышения туристической привлекательности г. Казани путем создания на базе водоемов в парках декоративных аквакультурных зон. г. Казань. 2015. 29 с.

3. Калайда М.Л. Биологические основы рыбоводства: учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2013. 151 с.



## НАПРАВЛЕНИЕ: ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

### СЕКЦИЯ 1. Ядерная, тепловая и электрохимическая энергетика

<b>Аверьянова А.А.</b> Влияние конструктивных параметров профильных витых трубок на характеристики сетевого подогревателя. . . . .	3
<b>Акберова Г.И.</b> Анализ остаточного содержания ионов накипиобразования в теплоносителе для тепловой сети в ЖКХ. . . . .	5
<b>Ахметзянова А.Т.</b> Причины возникновения отклонений качества горячей воды от норматива по запаху. . . . .	8
<b>Бобровский В.А., Шайхатдинов Ф.А., Агарков Д.А., Самойлов А.В., Бредихин С.И.</b> Установка воздушного риформинга метана для транспортного средства на топливных элементах. . . . .	11
<b>Варганова А.М.</b> Определение коррозионной активности теплоносителя в структуре ЖКХ. . . . .	13
<b>Гайнутдинов Ф.Р.</b> Устройства измерения концентрации водорода в воздухе. . . . .	16
<b>Дмитриева Е.В.</b> Анализ отложений карбонатного типа в тепловых сетях. . . . .	19
<b>Камалиева Р.Ф.</b> Улавливание углекислого газа при работе высокотемпературных топливных элементов. . . . .	22
<b>Киреев М.Р.</b> Применение водорода в энергетическом промысле. . . . .	25
<b>Киселёв И.И.</b> Перспективы применения мазутных присадок на ТЭС в РФ. . . . .	28
<b>Киселев Р.В.</b> Исследование технологического процесса газификации угля с целью использования в парогазовых установках. . . . .	32
<b>Кубасова А.М.</b> К вопросу о консервации барабанных котлов. . . . .	34
<b>Майоров Е.С.</b> Возможность внедрения МГД-генератора в схему ГЭС для получения водорода. . . . .	37
<b>Маркова М.Г.</b> Состояние и перспективы водородной энергетики. . . . .	39
<b>Медведева С.Н.</b> Мониторинг качества питьевой воды московского района города Казани. . . . .	42
<b>Минугалиева Д.И.</b> Анализ существующих методик расчета радиуса эффективного теплоснабжения. . . . .	44
<b>Низамаева А.В., Печенкин А.В.</b> Исследование микробиологических отложений и анализ их взаимодействия с теплоэнергетическим оборудованием на ТЭС. . . . .	47
<b>Печенкин А.В., Гаврилин В.В., Сорокин К.С.</b> Сравнение эффективности паровой конверсии газа и его сжигания. . . . .	50

<b>Разакова Р.И.</b> Топливные элементы. . . . .	52
<b>Савельева Д.А.</b> Развитие технологий очистки дымовых газов ТЭС. .	55
<b>Сагиров В.Р.</b> Развитие технологической очистки дымовых газов ТЭС. . . . .	58
<b>Садиков А.А., Хохонов А.А., Агарков Д.А., Самойлов А.В., Бредихин С.И.</b> Исследование характеристик воздушного теплообменника для твердооксидных топливных элементов. . . . .	61
<b>Селиванов В.Л.</b> Повышение эффективности работы компрессора ГТУ. . . . .	63
<b>Соколов А.М.</b> Особенности развития распределённой генерации в России. . . . .	65
<b>Сатова Р.К., Нурмуратова Л.С., Гадылбек А.</b> Анализ использования водородных технологий в экономике Казахстана. . .	68
<b>Сатова Р.К., Салыкова М.С., Нурмуратова Л.С.</b> Мировая практика производства и использования зеленого водорода. . . . .	73
<b>Тухбатуллин А.М.</b> Математическая модель системы измерения и оценки параметров технологического процесса деаэрации. . . . .	79
<b>Филимонов С.С.</b> Единая энергетическая система Российской Федерации, перспективы развития. . . . .	81
<b>Черкасов А.С.</b> Компрессорное оборудование газотурбинных и парогазовых установок. . . . .	84
<b>Шайхатдинов Ф.А., Трапезников А.Н., Хохонов А.А.</b> Особенности разработки системы отопления салона с использованием тепла работы топливных элементов. . . . .	87
<b>Шафиев Д.Р., Трапезников А.Н., Агарков Д.А., Самойлов А.В., Бредихин С.И.</b> Влияние стабильности подачи топлива на работу топливных элементов. . . . .	90

## **СЕКЦИЯ 2. Промышленная теплоэнергетика. Эксплуатация и надежность энергоустановок и систем теплоснабжения**

<b>Абдуллин Т.Р.</b> Особенности диагностики технического состояния трубопроводов. . . . .	92
<b>Азнабаева А.А.</b> Перспективы развития геотермальной энергетики. .	94
<b>Акбуляков А.Т.</b> Аккумуляторы тепла на материалах с фазовым переходом. . . . .	97
<b>Анпилогов Л.Д.</b> Особенности развития солнечной энергетики. . . . .	99
<b>Ахметгалиев И.Ф.</b> Удаленная диспетчеризация как современный метод модернизации индивидуальных тепловых пунктов. . . . .	101

<b>Ахметгалиев И.Ф.</b> Современные методы модернизации тепловых узлов жилых многоквартирных домов . . . . .	104
<b>Беленкова А.Д.</b> Перспективы применения солнечной энергии. . . . .	107
<b>Бубнов К.Н.</b> Разработка математической модели энергетической характеристики конденсационной турбины с учетом схемы включения регенеративных подогревателей . . . . .	109
<b>Валиев Р.Ш.</b> Решение задачи о течении жидкости через затвор трубопроводной арматуры в ANSYS CFX . . . . .	112
<b>Валиуллин К.И.</b> Автоматизация систем оперативного дистанционного контроля состояния теплоизоляционного слоя пенополиуретана (ППУ) предизолированных трубопроводов . . . . .	115
<b>Гапоненко С.О.</b> Программно-аппаратный комплекс для контроля технического состояния трубопроводов на основе методов энтропийной параметризации вибродиагностических сигналов . . . . .	117
<b>Гарнышова Е.В., Измайлова Е.В.</b> Контроль состояния трубопроводов определением зависимостей собственных частот колебаний от плотности и толщины отложений . . . . .	120
<b>Глухова П.Е.</b> Особенности использования геотермальной энергии . . . . .	124
<b>Гуломалиев Ш.Н.</b> Применения z-образных компенсаторов. . . . .	126
<b>Даутов Р.Р.</b> Комбинированная система отопления индивидуальных жилых зданий с помощью теплового насоса и солнечных коллекторов . . . . .	130
<b>Жарков Ю.В.</b> Усовершенствование системы сбора и возврата конденсата ПАО «Нижекамскнефтехим». . . . .	133
<b>Жарков Ю.В.</b> Оптимизация системы теплоснабжения 1-ой промышленной зоны ПАО «Нижекамскнефтехим». . . . .	136
<b>Зайцева А.А.</b> Особенности применения геотермальной энергии в Российской Федерации. . . . .	138
<b>Зарипов Р.Р.</b> Перевод многоквартирного жилого дома на индивидуальную систему теплоснабжения (крышная котельная). . . . .	141
<b>Захаров А.С.</b> Оптимизация потребления энергоресурсов на нефтеперерабатывающем предприятии с использованием пинч-анализа . . . . .	143
<b>Зубарев Н.А.</b> Методы повышения эффективности энергетического оборудования . . . . .	145
<b>Кряжева А.А., Садертинова В.А.</b> Оценка эффективности работы реверсивного парокомпрессионного теплового насоса «воздух-вода» НРІ-S. . . . .	148

<b>Лапин К.В.</b> Использование средств измерений температуры теплоносителя для поиска мест затопления трубопроводов теплосети . . . . .	151
<b>Мадыхова А.О.</b> Роботизированная внутритрубная диагностика . . . .	155
<b>Малахов А.О.</b> Термоакустические колебания газа в камере сгорания с закрученным пламенем . . . . .	158
<b>Миниханова А.Р.</b> Водородная энергетика будущего. . . . .	161
<b>Мулюкин И.А.</b> Оптимизация систем теплоснабжения. . . . .	164
<b>Мулюкин И.А.</b> Эффективность систем теплоснабжения. . . . .	167
<b>Мустафина Г.Р.</b> Методы санитарной обработки органических отходов в биогазовой установке. . . . .	170
<b>Мустафина Г.Р.</b> Особенности применения биогазовых технологий в сельскохозяйственных производствах . . . . .	172
<b>Пономарев Р.А.</b> Использование программной среды LabVIEW в создании виртуальных экспериментов . . . . .	175
<b>Ротач Р.Р.</b> Повышение эффективности работы котельной при внедрении винтовых расширительных машин. . . . .	177
<b>Сагадеева Л.А.</b> Использование монолитного пенобетона для теплоизоляции трубопроводов . . . . .	180
<b>Ульябаева Г.Ш., Гапоненко С.О.</b> Обзор методов неразрушающего контроля технического состояния трубопроводов. . . . .	183
<b>Фаздалова А.Р.</b> Методика исследования теплопроводности изоляции при отрицательных температурах . . . . .	185
<b>Федотова А.О.</b> Оценка передачи теплоты трубопровода, покрытого краской с микросферами . . . . .	188
<b>Хайруллина Н.Т.</b> Водородный котел как источник автономного теплоснабжения . . . . .	191
<b>Хакимов Д.Р.</b> Аккумулирование тепловой энергии солнца на основе веществ с фазовым переходом . . . . .	193
<b>Хасанов Н.А.</b> Фрактальный метод анализа виброакустических сигналов . . . . .	196
<b>Хисамутдинов А.Н.</b> Повышение энергоэффективности химических предприятий путем внедрения энергосберегающих мероприятий . . .	197
<b>Хусаинова К.Л.</b> Перспективы применения ветроэнергетики в России . . . . .	199
<b>Черный А.А.</b> Эффективность использования тепла уходящих дымовых газов в путевых подогревателях . . . . .	202
<b>Шакурова Р.З., Гапоненко С.О.</b> Виброакустический способ оценки технического состояния трубопроводов . . . . .	205

<b>Шаповалов С.К., Запольская И.Н.</b> Оценка экономического эффекта при переносе функций горячего водоснабжения в ИТП . . . . .	208
<b>Ястребов А.В.</b> Применение теплового насоса в системе воздушного отопления металлообрабатывающего цеха . . . . .	212
<b>Ястребов А.В.</b> Особенности применения теплообменных аппаратов для системы воздушного отопления . . . . .	214

### СЕКЦИЯ 3. Энергетическое машиностроение

<b>Абдреев К.А.</b> Геотермальные источники энергии России. . . . .	217
<b>Абдуллин А.А.</b> Малые автономные электростанции. . . . .	219
<b>Абрамов Р.А., Зозуля И.В., Сафиуллин Р.Р.</b> Использование тепловых насосов на ТЭС. . . . .	222
<b>Абрамова Ю.Г.</b> Биоэнергетика, получение энергии из биологических отходов. . . . .	225
<b>Алексеев Ф.В.</b> Накопители энергии как средство повышения эффективности работы электрической сети. . . . .	228
<b>Афанасьева В.В.</b> Водородная энергетика автомобильного транспорта. . . . .	231
<b>Богданова А.Н.</b> Энергообеспечение изолированных районов России с использованием возобновляемых источников энергии. . . . .	233
<b>Быков А.Е.</b> Распределенная водородная энергетика. . . . .	236
<b>Валиева Э.Р.</b> Использование газопоршневых установок для энергоснабжения жилых комплексов с точки зрения экономичности. . . . .	239
<b>Валиева Э.Р.</b> Какое топливо для ТЭС выгоднее с экономической и экологической точки зрения. . . . .	242
<b>Валиуллин Б.Р.</b> Оценка энергетических затрат на подготовку углей различных марок к поточной газификации. . . . .	245
<b>Гайфиева Л.Ф.</b> Перспективы развития геотермальной России. . . . .	247
<b>Галяутдинов Р.М.</b> Перспективы комплексной переработки твердых топлив с получением водорода и химических продуктов. . . . .	249
<b>Ганюшкина Ю.Д.</b> Влияние оптового рынка на ценообразование в электроэнергетике. . . . .	252
<b>Глоткина Л.А.</b> Способ получения безопасной энергии с наибольшим коэффициентом полезного действия. . . . .	254
<b>Гурьева П.Ю.</b> Перспективы развития систем накопления электроэнергии. . . . .	255
<b>Демократиа Д.И.</b> Повышение производительности ГТУ с использованием абсорбционно-холодильной машины для эксплуатации в Индонезии. . . . .	257

<b>Донецкий Д.С., Ишалин А.В.</b> Перспективы ГТУ малой мощности на российском рынке. . . . .	260
<b>Елфутин М.Д.</b> Перспективы развития виртуальных электростанций. . . . .	262
<b>Ефимов Д.В.</b> Перспективы развития камер сгорания газотурбинных установок. . . . .	265
<b>Зиганшина Д.Е.</b> Гибридная дизель-солнечная электростанция. . . . .	268
<b>Зозуля И.В., Абрамов Р.А., Сафиуллин Р.Р.</b> Мини-ТЭЦ. . . . .	271
<b>Ибрагимова З.Р.</b> Экологические аспекты деятельности ТЭС. . . . .	274
<b>Иванов Д.В., Бадертдинова Д.Р.</b> Эффективность мини-ТЭЦ. . . . .	276
<b>Иванов Т.Д.</b> Геотермальные электрические станции и их популярность в РФ. . . . .	278
<b>Ишалин А.В., Сопина Ю.В.</b> Работа энергоблока НК-16-18СТ в пиковые часы с добавлением водорода. . . . .	281
<b>Казбакова И.Р.</b> Утилизация CO <sub>2</sub> при работе газовой турбины. . . . .	284
<b>Кашапов Р.А.</b> Методы математического моделирования в прикладной механике. . . . .	287
<b>Клейн Е.В.</b> Модернизация газовой турбины 9НА.01. Влияние использования теплоты уходящих газов на КПД газовой турбины. . . . .	290
<b>Мавляутдинов Л.Р.</b> Пути эффективного использования вторичных энергетических ресурсов. . . . .	293
<b>Марьин Г.Е., Сопина Ю.В.</b> Работа газовой турбины на водородном топливе. . . . .	296
<b>Микусов Е.О., Викторов Е.Н.</b> Оценка адекватности математической модели ГТУ V94.2. . . . .	299
<b>Минмуллин И.И.</b> Система очистки маслоохлаждения ГТУ. . . . .	302
<b>Муругов Д.А.</b> Конструктивный расчет ГТУ мощностью 160 МВт. . . . .	304
<b>Набиуллина М.Ф.</b> Разработка устройства очистки отработанного масла. . . . .	306
<b>Напойкина А.В.</b> Энергоаудит и системы ПГУ. . . . .	309
<b>Новоселова М.С., Мингазов Н.Р.</b> Исследование диапазона работоспособности газотурбинной установки типа W501G (1,10). . . . .	312
<b>Орлов А.С., Клейдман М.Д.</b> 3D моделирование напряженно-деформируемого состояния элементов подогревателя высокого давления. . . . .	315
<b>Ситдиков А.Р., Ишалин А.В.</b> Использование попутных газов в камере сгорания ГТУ. . . . .	318
<b>Сулейманов Э.В.</b> Получение топливного газа при термической переработке биомассы. . . . .	320
<b>Султанова Р.Р., Токмачёва И.С.</b> Методы повышения эффективности работы газотурбинных установок. . . . .	323

<b>Теплов В.М.</b> Разработка узла технологической схемы регенерации отработанного масла. . . . .	325
<b>Халиева А.М.</b> Сверхэкономная двигательная установка. . . . .	328
<b>Халикова В.Ф.</b> Современные теплообменные аппараты. . . . .	331
<b>Хасанов А.А., Сорокин К.С.</b> Применение АБХМ для повышения КПД в ГТУ. . . . .	334
<b>Хизбуллин А.Р.</b> Исследование возможности применения технологического газа на компрессорных станциях. . . . .	336
<b>Чичи И.Ф.</b> Математическая модель ТГ-16М. . . . .	339
<b>Чу В.Ч., Басати Панах М., Лаптев М.А.</b> Повышение эффективности малогабаритных газотурбинных установок мощностью до 100 кВт использованием биметаллических рекуператоров. . . . .	342

#### **СЕКЦИЯ 4. Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений**

<b>Асылжанова А.Б.</b> Современные энергосберегающие технологии, внедряемые на промышленных предприятиях Восточно-Казахстанской области . . . . .	346
<b>Климовских М.В.</b> Анализ отработавшего трансформаторного масла методом тонкослойной хроматографии. . . . .	350
<b>Маслов К.М.</b> Интенсификация теплообмена с нерегулярными насадками «ИНЖЕХИМ». . . . .	352
<b>Муртазин Р.Ш.</b> Особенности пространственной работы диска сборно-монолитного перекрытия, обусловленные внутренними усилиями в элементах. . . . .	355
<b>Окружнов В.А.</b> Экспериментальное исследование эффективности охлаждения воды с различными насадками. . . . .	358
<b>Парфенов Г.И., Смирнов Н.Н., Трухин И.С.</b> Оценка эффективности применения разработанных энергосберегающих мероприятий при создании динамического микроклимата в помещении полномасштабного тренажера БЩУ АЭС. . . . .	361
<b>Рахманов А.А.</b> Компьютерное моделирование метода лазерного зондирования при инженерных изысканиях в энергетике и строительстве. . . . .	364
<b>Сабирова Ю.Ф.</b> Определение оптимальных параметров для интенсификации теплообменного аппарата. . . . .	367
<b>Смышляева Д.И.</b> Анализ эффективности использования рекуперации в России и Европе. . . . .	370

<b>Талипова А.Р.</b> Исследование конвективного теплообмена в элементах теплообменника в форме пружин. ....	372
<b>Талипова А.Р., Сабирова Ю.Ф.</b> Исследование теплообмена в теплообменнике с пористыми гранулами. ....	375
<b>Токарева Л.А.</b> Оптимальные конструктивные решения при строительстве башен ветроэнергетических установок. ....	377
<b>Холмогоров И.В., Фаизов Н.Н.</b> Использование тепловой энергии сточных вод предприятий целлюлозно-бумажной промышленности.	380
<b>Шарафутдинов Л.А.</b> К расчёту нормального сечения усиленного железобетонного элемента сталефибробетонной «рубашкой». ....	383

## **СЕКЦИЯ 5. Автоматизация технологических процессов и производств**

<b>Абдрахманов Д.Р., Марченко А.С.</b> Ветроэнергетическая установка как устройство получения электроэнергии. ....	386
<b>Абзалов Д.Б.</b> Автоматизация системы управления дымоудаления на территории административно-складского комплекса. ....	388
<b>Баймурзин А.Х.</b> Интеллектуальная система автоматизации «Умный дом». ....	391
<b>Баймурзин А.Х.</b> Преимущества внедрения технологии блокчейн на производстве. ....	394
<b>Баторшин Т.Р.</b> Разработка мнемосхемы для дистанционного управления роботизированной мобильной платформы. ....	397
<b>Блинова Ю.А.</b> Разработка прототипа АСУ логистическим пунктом станочного цеха с использованием роботизированной платформы. . .	400
<b>Горбов В.Ю.</b> Усовершенствование вентиляционных установок производственного назначения. ....	403
<b>Давлетхузина Э.М.</b> Разработка АСУ печи предварительного подогрева нефти. ....	405
<b>Зайнетдинов М.Р., Сахибгареев Н.Ф.</b> Численное моделирование сеточной модели центробежного классификатора. ....	408
<b>Зеленов Д.А.</b> Автоматическое управление технологическим процессом кондиционирования воздуха. ....	411
<b>Зубрилов М.К.</b> Автоматизация и управление внешними устройствами. ....	414
<b>Иванов А.Ю.</b> Применение блочно-модульной котельной в пунктах временного размещения. ....	417
<b>Казиханов А.Р., Мавлеев Р.Р.</b> Автоматизированная информационная система промышленного предприятия. ....	419



<b>Квасова И.С.</b> Сравнительный анализ систем автоматизации управления творческими проектами. ....	422
<b>Колесникова А.И.</b> Разработка системы управления компрессорной установкой. ....	425
<b>Куликов Р.В.</b> Создание проекта для обучения студентов основам робототехники на базе ARDUINO. ....	428
<b>Молокова О.А.</b> Оптимизация системы управления технологическим процессом нагрева сушильного барабана при производстве монокальцийфосфата. ....	430
<b>Мугинов А.М., Зиангиров А.Ф., Уткин М.О.</b> Создание опытного образовательного стенда по автоматизированным системам пожаротушения. ....	434
<b>Муратова А.М.</b> Области применения отечественных ПТК. ....	437
<b>Пирогова А.М., Хамидуллин З.Ф.</b> Разработка пользовательского интерфейса АСУ для прототипов на ARDUINO. ....	439
<b>Платонова А.В.</b> Задачи элементов автоматической системы пожарной сигнализации. ....	442
<b>Поплавский И.А.</b> Разработка цифровой системы безопасности территории ПГУ-250 города Казань. ....	445
<b>Русин Д.М.</b> Разработка прототипа роботизированной платформы для АСУ клининга станочного цеха. ....	448
<b>Сабанцев Д.Г.</b> Автоматизация технологического процесса птицефабрики на базе устройства STZ6. ....	451
<b>Садыков Р.Д., Марченко А.С.</b> Верхний уровень на примере АСУ печи предварительного подогрева нефти в TRACE MODE. ....	454
<b>Скворцов Д.Д.</b> Автоматическое управление технологическим процессом перекачки воды насосом. ....	456
<b>Уткин М.О., Россамахина Н.С.</b> Автоматическая система управления микроклиматом в контейнере для майнинга с мониторингом безопасности. ....	459
<b>Уткина М.А.</b> Разработка автоматической интеллектуальной логистической системы для склада. ....	462
<b>Фатхутдинов А.А., Кинёв Д.В.</b> Алгоритм управления технологическими процессами в условиях мелкосерийного производства. ....	464
<b>Халимов А.А., Крехов Д.С.</b> Сравнение инструментов для отображения графиков параметров автоматических систем управления на клиентской стороне. ....	466
<b>Шаронов Н.С., Шайхезадин Д.И.</b> Разработка прототипа автоматизированной системы управления мобильного видеонаблюдения. ....	468

## СЕКЦИЯ 6. Теплофизика

<b>Бикташев И.А., Моисеева К.С.</b> Исследование градирни с наклонными гофрированными вставками. . . . .	472
<b>Васина А.Ю.</b> Сепарация мелкодисперсных частиц диоксида кремния из газового потока в сепарационном устройстве. . . . .	474
<b>Войткова К.А.</b> Математическое моделирование процесса испарения капель воды с поверхности металла. . . . .	477
<b>Зинуров В.Э., Галимова А.Р., Бикташев И.А.</b> Разделение сыпучего материала в мультивихревом классификаторе. . . . .	480
<b>Зинуров В.Э., Галимова А.Р., Хабибуллин Б.Р.</b> Разработка и создание центробежного классификатора-сепаратора. . . . .	483
<b>Исаева А.Е., Моисеева К.С.</b> Расчет коэффициента теплопередачи при различных объемных расходах холодного теплоносителя. . . . .	486
<b>Казаков Р.И., Калимуллин И.Р.</b> Вихревое устройство контактного охлаждения газа. . . . .	489
<b>Коньжов К.В.</b> Дезмульсация водонефтяной эмульсии в экспериментальном сепараторе. . . . .	492
<b>Моисеева К.С., Шарипов Ш.М.</b> Исследование сепарационного устройства для фракционирования сыпучего материала. . . . .	494
<b>Насырова И.И., Вьюгова К.Д.</b> Экспериментальное исследование сужающего устройства на основе трубы Вентури. . . . .	497
<b>Полтев И.Е.</b> О влиянии межмолекулярных взаимодействий на некоторые спектральные характеристики соединений мышьяка. . . . .	499
<b>Сахибгареев Н.Ф.</b> Исследование теплоотдачи в мультивихревом теплообменном аппарате по типу трубы Фильда. . . . .	502
<b>Сергеева Е.А.</b> Гидравлический подъемный механизм с ручным управлением. . . . .	505
<b>Федосеева Е.В., Кулай И.Г.</b> Исследование сепарационной способности двутавровых балок в прямоугольном корпусе. . . . .	507

## СЕКЦИЯ 7. Экологические проблемы водных биоресурсов

<b>Бабикова В.В.</b> Установки замкнутого цикла как природоохранная биотехнология. . . . .	510
<b>Гречка Е.А.</b> Оценка качества поверхностных вод в г. Шахты. . . . .	513
<b>Ибрагимова Г.Д.</b> Аквакультура как перспективная космическая биотехнология. . . . .	516

<b>Ильина В.В.</b> Исследование характеристик икры форели разных производителей для выращивания в условиях рыбоводного комплекса ООО «Биосфера Фиш» . . . . .	519
<b>Исмагилов Ф.А.</b> Мировые объемы производства аквакультурной продукции костных рыб и ракообразных. . . . .	522
<b>Калайда А.А., Пиганов Е.С.</b> Методы хранения и криоконсервации спермы при искусственном воспроизводстве африканских клариевых сомов. . . . .	525
<b>Пенкин Д.В., Хамитова М.Ф.</b> Кислородный режим садкового рыбоводного хозяйства на пруду села Абди (р. Нысе) в Тюлячинском районе Республики Татарстан. . . . .	528
<b>Пенкина И.В., Хамитова М.Ф.</b> Гидрохимические показатели качества вод при выращивании карпов кои в водоеме комплексного назначения. . . . .	531
<b>Пиганов Е.С.</b> Регуляция уровня режима как экологический фактор при получении половых продуктов у клариевых сомов. . . . .	534
<b>Платонова А.В., Хамитова М.Ф.</b> Зоопланктон водоема парковой зоны «Озеро Харовое». . . . .	537
<b>Платонова А.В., Хамитова М.Ф.</b> Выращивание молоди карпа кои в установке замкнутого цикла водообеспечения. . . . .	540

Научное издание

ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2022 «ЭНЕРГЕТИКА И  
ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

Международная молодежная научная конференция

(Казань, 27-29 апреля 2022 г.)

Электронный сборник статей по материалам конференции

В трех томах

Том 2

Под общей редакцией ректора КГЭУ Э. Ю. Абдуллазянова

Авторская редакция

Корректор *Е. С. Дремичева*  
Компьютерная верстка *Е. С. Дремичевой*  
Дизайн обложки *Ю. Ф. Мухаметшиной*

Центр публикационной активности КГЭУ  
420066, Казань, Красносельская, д. 51