



МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021  
«ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА»



## ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021 «ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

Международная молодежная научная конференция  
(Казань, 28–30 апреля 2021 г.)

Материалы конференции

В трех томах

Том 2

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

ISBN 978-5-6046580-4-8



9 785604 658048

Материалы конференции

2



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»  
АО «Системный оператор Единой энергетической системы»  
Публичное акционерное общество «Федеральная сетевая компания  
Единой энергетической системы»  
Российский национальный комитет международного совета по большим  
электрическим системам высокого напряжения (РНК СИГРЭ)  
Благотворительный фонд «Надежная смена»

ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021  
«ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

Международная молодежная научная конференция  
(Казань, 28–30 апреля 2021 г.)

Материалы конференции

В трех томах

Том 2

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

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

Казань  
2021

УДК 620.9:004  
ББК 31.3  
Т42

Рецензенты:

канд. техн. наук, зав. кафедрой «Электрические станции» ФГБОУ ВО «СамГТУ»  
доц. А.С. Ведерников;  
д-р техн. наук, проректор по НР ФГБОУ ВО «КГЭУ» И.Г. Ахметова

Редакционная коллегия:

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

Т42      **Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация. В 3 т. Т. 2. Теплоэнергетика: матер. Междунар. молод. науч. конф. (Казань, 28–30 апреля 2021 г.) / под общ. ред. ректора КГЭУ Э. Ю. Абдуллазянова. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – 455 с.**

ISBN 978-5-6046580-4-8 (т. 2)  
ISBN 978-5-6046580-3-1

Опубликованы материалы Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения – 2020 «Энергетика и цифровая трансформация», в которых изложены результаты научно-исследовательской работы молодых ученых, аспирантов и студентов по проблемам в области теплоэнергетики по следующим научным направлениям: электроэнергетические системы и сети, надежность, диагностика; электроснабжение; промышленная электроника и светотехника, электрические и электронные аппараты; перспективные материалы и направления развития физики, химии, математики и материаловедения; электротехнические комплексы и системы; энергоэффективность и энергобезопасность производства; системная автоматика, релейная защита и противоаварийное управление в электроэнергетических системах; инженерная защита окружающей среды и безопасность труда на производстве; возобновляемые источники энергии и безопасность; контроль, автоматизация и диагностика электроустановок электрических станций и подстанций.

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

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

УДК 620.9:004  
ББК 31.3

ISBN 978-5-6046580-4-8 (т. 2)  
ISBN 978-5-6046580-3-1

© КГЭУ, 2021  
Оформление ООО ПК «Астор и Я», 2021

УДК 621.311.22

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СЕТЕВЫХ  
ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
СТАНЦИЯХ**

А.А. Аверьянова, Ю.В. Абасев  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
annaannaaver@mail.com

Рассматриваются существующие методы оценки эффективности работы сетевых подогревателей на тепловых электрических станциях.

**Ключевые слова:** сетевой подогреватель, показатель, эффективность, недогрев, температурный напор, гидравлическое сопротивление.

Сетевые подогреватели (СП) тепловых электрических станций предназначены для отпуска тепловой энергии в теплосеть – с теплоносителем в виде горячей воды, направляемой на отопление и горячее водоснабжение внешних потребителей.

Основным показателем СП, при котором обеспечивается наибольшая экономичность работы турбоустановки, является температурный напор, или недогрев, причиной которого служит нарушение эксплуатации или недостатки проектирования теплообменника. Недогревом принято считать разность между температурой воды на выходе из подогревателя и температурой насыщения пара. Повышенные значения этого показателя являются признаком неудовлетворительного состояния теплообменника и его несоответствия фактическим условиям работы.

К одним из главных причин увеличения температурного напора можно отнести загрязнение внутренней поверхности трубок, вследствие образования отложений минеральных примесей, содержащихся в сетевой воде, уменьшение рабочей поверхности теплообмена из-за удаления или затопления части трубок, а также наличие воздуха и неконденсирующихся газов в паровом пространстве подогревателя, вызванных его работой с давлением пара отбора ниже атмосферного [1].

В [2] говорится о том, что вышеперечисленные причины могут привести к снижению показателей тепловой экономичности теплофикационных турбин и ТЭЦ, величины выработки электроэнергии за отопительный период. Автор предлагает проводить оценку эксплуатационного состояния подогревателя по некоторому показателю  $S$ , который определяется как отношение текущего значения коэффициента теплопередачи  $K$  и его нормативного значения  $K_H$ . Показатель  $S = K/K_H$  характеризует отклонение текущего значения коэффициента теплопередачи от соответствующего ему нормативного состояния.  $K$  и  $K_H$  определяются для одинаковых условий работы подогревателя. Показатель  $S$  является универсальным и позволяет сравнивать его значение в данный момент и в любой другой период времени, когда осуществлялись измерения параметров сетевого подогревателя с нормативными значениями.

Известен метод [3], позволяющий оценить состояние поверхности нагрева сетевого подогревателя и основанный на сравнении фактического и расчетного температурных напоров. Он заключается в нахождении коэффициента  $\beta$  – степени загрязнения поверхности нагрева, зависящего от относительного расхода воды  $\bar{G}$ , отношения фактического нагрева к расчетному температурному напору  $\varepsilon$ , отношения расчетного и фактического температурных напоров  $\varphi$ . Показатель  $\beta$  характеризует уменьшение значения фактического коэффициента теплопередачи по сравнению с расчетным для чистой поверхности нагрева и учитывает влияние на фактический коэффициент теплопередачи загрязнения поверхности нагрева отложениями, наличия неконденсирующихся газов в паровом пространстве, несоответствия фактической поверхности нагрева расчетной.

Ещё одним фактором, определяющим качество работы СП, является его гидравлическое сопротивление. При проведении гидравлических испытаний делают замеры расхода сетевой воды, давления и температуры воды на входе и выходе СП, для определения расчётных потерь напора и сопротивления [4]. Анализ результатов гидравлического испытания производится путём сравнения полученных расчётных данных с паспортными значениями СП. Повышенные значения гидравлического сопротивления говорят о неудовлетворительном состоянии поверхностей нагрева и наличии заглужённых трубок теплообменника. К примеру, увеличение сопротивления в 1,7 раза (относительно заводских характеристик) определяется наличием равномерной накипи на стенках толщиной 1 мм, что будет приводить к увеличению затрат на электроэнергию для сетевых насосов, и соответственно, к росту топливных затрат.

Рассмотренные методы оценки эффективности работы сетевых подогревателей позволяют определить качество работы теплообменника. Своевременное реагирование на отклонение расчётных значений от номинальных и устранение неполадок, позволят повысить тепловую эффективность СП, экономичность работы турбоустановки и станции в целом. Оценку эффективности работы сетевых подогревателей можно проводить на компьютерных тренажёрно-аналитических комплексах, моделирующих работу теплоэнергетического оборудования ТЭС [5–7].

### Источники

1. РД 34.40.503-94. Типовая инструкция по эксплуатации установок подогрева сетевой воды на ТЭС и КЭС. М., 1996. 67 с.
2. Борисов Г.М. Диагностика эксплуатационного состояния сетевых подогревателей // Энергосбережение и водоподготовка. 2006. № 4. С. 65–67.
3. МУ-34-70-104-85. Методические указания по эксплуатационному контролю за состоянием сетевых подогревателей [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-прав. системы «Гарант» (дата обращения: 04.03.2021).
4. МУ-34-70-001-82. Методические указания по испытанию сетевых подогревателей [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-прав. системы «Гарант» (дата обращения: 04.03.2021).
5. Применение компьютерных тренажёров, моделирующих работу тепловых электростанций, в подготовке специалистов для теплоэнергетики / Н.Д. Чичирова [и др.] // Актуальные вопросы инженерного образования: содержание, технологии, качество: сб. матер. VIII Всерос. науч.-метод. конф. 2018. С. 117–121.
6. Чичирова Н.Д., Абасев Ю.В., Евгеньев И.В. Повышение качества эксплуатации оборудования тепловых электростанций за счет применения компьютерных тренажерно-аналитических комплексов // Надежность и безопасность энергетики. 2020. Т. 13, № (1). С. 29–34.
7. Chichirova N.D., Abasev Y.V. and Zakirova I. A. Digital Technologies in the Educational Process of the Thermal Power Plant Department, Kazan State Power Engineering University // V International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino). Moscow, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1109/Inforino48376.2020.9111756>.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА ФИЛИАЛЕ АО «ТАТЭНЕРГО» КАЗАНСКАЯ ТЭЦ-1**

О.Е. Бабиков, А.Ю. Власова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
Науч. рук. С.М. Власов

На предприятиях энергетической отрасли в процессе работы и эксплуатации водоподготовительного оборудования происходит постоянное накопление и размножение микроорганизмов, а именно аэробных и анаэробных бактерий. Состав и количество микроорганизмов на установках водоподготовки может варьироваться от многих факторов, например, от источника водоснабжения, времени года, от типа проводимого водного режима на станции.

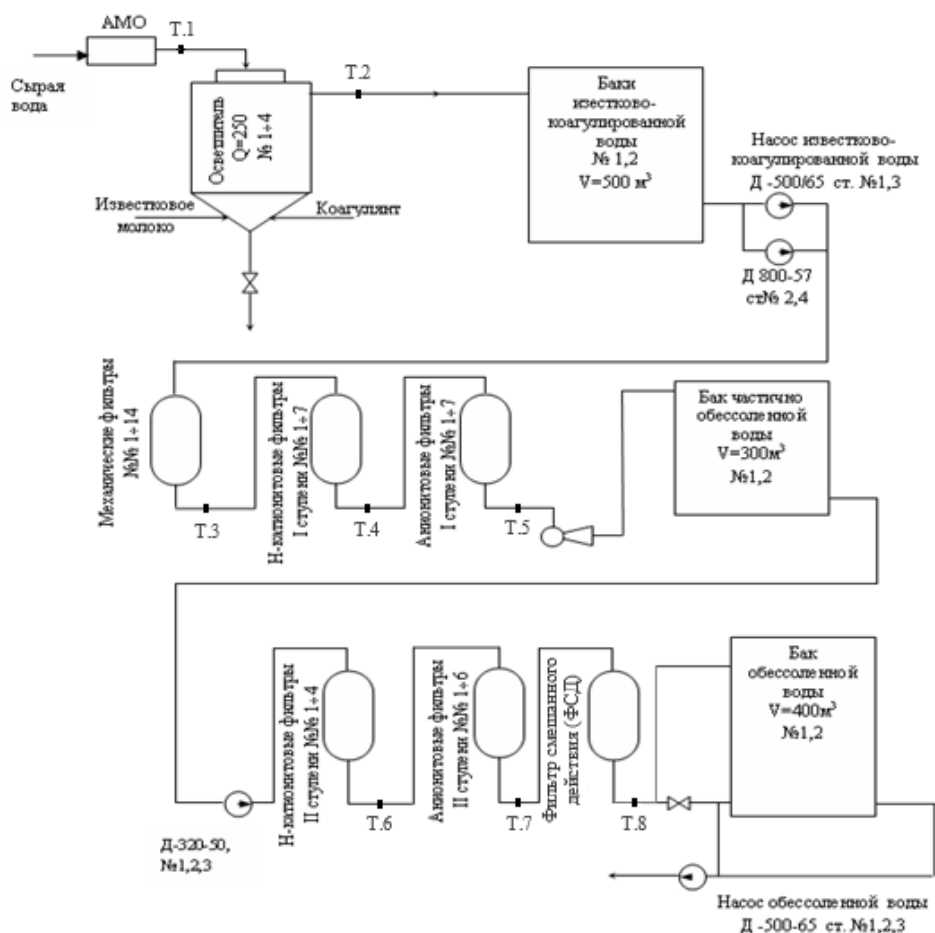
Водоподготовительные установки (ВПУ) на основе ионообменных технологий также подвержены загрязнению биологическими организмами. Борьбу с загрязнением обычно проводят методом обработки ионообменных смол с применением биоцидов. Авторами [1] описаны исследования по деструкции анионитов и катионитов за счет загрязнения биологическими организмами. Загрязнения смол ионообменных ВПУ приводит к увеличению перепада давления в слое смолы и к разрушению гранул смолы.

В настоящее время применяются различные методы для удаления биопленок и уничтожения бактерий [2, 3]. Несмотря на проводимые режимные мероприятия, микробное загрязнение систем водоподготовки является основной причиной производственных проблем и аварийных ситуаций [4]. Микробное биообрастание и биокоррозия приводят к сокращению срока службы, эффективности и надежности работы энергетического оборудования. Невозможно полностью избавиться от биологического загрязнения на станциях. Микроорганизмы на поверхностях трубопроводов и оборудования всегда будут присутствовать, хотя их количество можно поддерживать на приемлемом уровне.

ВПУ на Казанской ТЭЦ-1 организована по «традиционной» схеме: предварительная очистка с последующей технологией ионного обмена. В 2018 г. на Казанской ТЭЦ-1 была введена в эксплуатацию современная парогазовая установка мощностью 230 МВт (ПГУ-230). С внедрением ПГУ

к качеству питательной воды на станциях предъявляются более жесткие требования, сравнимые с требованиями к качеству водоподготовки для прямоточных котлоагрегатов.

С целью повышения качества питательной воды в химическом цехе КТЭЦ-1 была произведена модернизация ВПУ и дополнительно был установлен ионообменный блок фильтров смешанного действия (ФСД). Новая схема ВПУ КТЭЦ-1 представлена на рисунке. В 2020 г. сотрудниками ФГБОУ ВО «КГЭУ» был проведен анализ биологического загрязнения на контрольных участках технологической схемы водоподготовки на КТЭЦ-1.



Технологическая схема ВПУ КТЭЦ-1 (точками обозначены места отбора проб)

Анализ биологической активности воды проводился с помощью сертифицированной методики с применением биодетекторов Barttests [5, 6]. Применялись биодетекторы с различной питательной средой: слизиобразующие (SlimeBart), сульфатредуцирующие (SRB-Bart), анализ гетеротрофных бактерий (HAB-Bart) и анализ на общее количество бактерий аэробного и анаэробного типа, а также грибков и дрожжей (дип слайд).



Было выявлено повышенное загрязнение пробы воды, взятой на выходе из ФСД. Уже на первые сутки наблюдалась реакция в виде обесцвечивания в верхней и нижней части тестового сосуда, что свидетельствует о наличии аэробных и анаэробных бактерий. Общее микробное число для пробы воды, взятой после ФСД, составило 6 890 000 КОЕ/мл. Обнаружена высокая степень биологического загрязнения на данном этапе водоподготовки и активном протекании коррозионных процессов. При таком уровне загрязнения внутренние поверхности различных энергетических систем обеспечивают идеальную среду обитания для микроорганизмов и бактерий, особенно при наличии резких перепадов температур и застойных зон (башенные градирни, конденсаторы паровых турбин, смесительные и тупиковые узлы, ионообменные фильтры, пруды-охладители, очистные сооружения, емкости различного назначения).

В результате программных расчётов было выявлено, что коррозионный риск для оборудования составляет 4 балла из 10 возможных, что свидетельствует о среднем уровне риска. Риск для здоровья персонала составил 2 балла из 10 (низкий уровень риска). Самые большие проблемы на данном участке схемы связаны с биологическим засорением оборудования и риск данного события составил 7 баллов.

По результатам исследования можно отметить, что регенерация ФСД на КТЭЦ-1 не обеспечивает полной очистки ИО смол от бактерий, и биоцидной обработке именно этого блока стоит уделить особое внимание. Бактерии проникают и размножаются в трещинах ионообменных смол и могут быть вынесены в котел утилизатор ПГУ, вызывая негативное влияние на работу всей станции: перерасход топлива, зашламливание экранных поверхностей котла, аварийные ситуации по прожогу экранных труб. Снижается эффективность выработки тепловой и электрической энергии, что в целом для современных блоков ПГУ недопустимо.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-424.2020.5 (соглашение № 075-15-2020-170).

### **Источники**

1. Critical point analysis and biocide treatment in a microbiologically contaminated water purification system of a power plant / Zsuzsa Kéki [et al.]. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0740-9> // SN Applied Sciences. 2019. Vol. 1, Is. 8.

2. Analysis of bacteria contaminating ultrapure water in industrial systems / L.A. Kulakov [et al.] // Appl. Environ. Microbiol. 2002. Vol. 68. Pp. 1548–1555.
3. Methods to reduce bacterial contamination of recycling cooling systems of a CHPP / N.D. Chichirova [et al.] // Therm. Eng. 2015. Vol. 62. Pp. 520–525.
4. Govenal R., Bonner A., Shadman F. Effect of component interactions on the removal of organic impurities in ultrapure water systems // Trans. Semicond. Manuf. 1991. Vol. 4, Is. 4. Pp. 298–303.
5. Biological Activity Reaction Test (BART TM): User Manual. Droycon Bioconcepts Inc., 2002. 57 p.
6. Cullimore D.R. Preliminary comparison of the applicability of the HAB BART system and the agar spreadplate methods for the quantification of bacterial populations in selected dilutions of pure cultures of three bacterial species // J. Environmental Micropaleontology, Microbiology and Meiobenthology. 2008. Vol. 3. Pp. 31–43.

УДК 621.311.22

## ДЕАЭРАЦИЯ ВОДЫ КАК СПОСОБ ЗАЩИТЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОТЕЛЬНОЙ И ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ОТ КОРРОЗИИ

О.С. Баймяшкина<sup>1</sup>, Р.Н. Яковлев<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>olga010797@mail.ru, <sup>2</sup>forklamb@gmail.com

Науч. рук. Р.Е. Безруков

Рассматриваются вопросы повышения энергетической эффективности процессов термической деаэрации воды путем модернизации деаэрационных установок. Описывается проблема водоподготовки для системы отопления и состояние тепловых сетей и трубопроводов и их изношенность за счет коррозии.

**Ключевые слова:** термическая деаэрация, деаэрационная установка, котельная, коррозия, подпиточная вода, водоподготовка, трубопроводы, тепловые сети, энергоэффективность.

Теплоносителем для систем отопления в основном служит подпиточная вода, в которой содержатся излишки кислорода и углекислого газа, а в первую очередь конструкция газовых котлов, осуществляющих подогрев воды для отопительных систем, состоит из стальных элементов.

Сочетание данных газов оказывает негативное влияние на стальные элементы, которые в результате могут привести к образованию коррозии с выделением ржавчины, что существенно сокращает срок эксплуатации оборудования. Так же стоит отметить, что всякий коррозионный процесс может вызвать необратимые изменения в качествах конструкционных материалов. Итогом этого процесса является поэтапное разрушение оборудования. Так же экономические потери, связанные с коррозией, характеризуются не столько стоимостью материала, сколько стоимостью ремонтных работ, а также потерями за счет простоя оборудования, затратами на устранение последствий аварий. В ряде стран потери от коррозии оставляют 4–6 % национального дохода.

Для снижения концентрации активных газов, а значит и для повышения срока эксплуатации оборудования котельной, используется термическая деаэрация подпиточной воды.

Однако в последние годы статистика показывает, что срок службы оборудования, осуществляющего процесс термической деаэрации и питаемое водой с высокой концентрацией агрессивных газов, значительно сокращается. Установлены случаи, когда трубы тепловых сетей были вынуждены менять через полтора-два года работы из-за интенсивной внутренней коррозии. Вышедшие из строя тепловые сети, изношенные трубы и оборудование также связаны с высокими затратами. Бывает, что вместо 20–30 лет тепловые сети служат 5 лет. Особенно малоуспешно обстоят дела в тепловых сетях с открытым водоразбором – открытая теплосеть отличается большим расходом воды на подпитку теплосети, так как по одной трубе подается вода на отопление и на горячее водоснабжение. Вдобавок для умягчения воды используются, как известно, водород-катионитовые фильтры, в которых получается большое количество свободной углекислоты [1].

В регионах с мягкой водой (Кольский полуостров, побережье Байкала, берега Ангары, в Карелии) не допускается некачественная работа сетевых деаэраторов из-за интенсивной внутренней углекислотной коррозии трубопроводов.

В котельных с водогрейными котлами, в большинстве случаев, монтируются вакуумные деаэраторы. За последние годы статистика показала, что большая часть вакуумных деаэраторов, выпускаемых отечественной промышленностью, работают неудовлетворительно в силу своих конструктивных недостатков.

В большинстве котельных установлены водогрейные и паровые котлы, а также атмосферные деаэраторы. Для отопления и горячего водоснабжения обычно используются водогрейные котлы. Паровые же

котлы, как правило, используются при малых нагрузках (с более низким КПД) лишь для снабжения паром деаэрационные установки. Устаревшие деаэраторы атмосферного типа являются неподходящими для эксплуатации и в связи с отсутствием пара. Экономически выгодным оказалось переводить эти деаэраторы в вакуумный режим. Некоторые марки деаэраторов, выпускаемых промышленностью, вообще не поддаются наладке. Небольшое количество предприятий переводили вакуумные деаэраторы в атмосферный режим, что, при отсутствии пара, приводило к усложнению и удорожанию их эксплуатации.

Можно сделать вывод о том, что модернизация деаэраторов на котельных требуется с целью повышения эффективности процесса высвобождения коррозионно-активных газов из подпиточной воды. Не так давно был реализован авторский проект Зимина Б. А по повышению уровня экономической эффективности процессов водоподготовки путем улучшенного качества деаэрации теплоносителя в широком диапазоне нагрузок. Была демонтирована старая деаэрационная колонка, а на ее место вмонтирован центробежно-капельный деаэратор, в итоге получена эффективная деаэрация с наименьшими затратами.

Данная деаэрационная установка может эксплуатироваться:

- в режиме повышенного давления (до 6 ата);
- в атмосферном режиме (1,2 ата), если имеется источник тепла для нагрева деаэрируемой воды до 104 °С;
- в вакуумном режиме в широком диапазоне абсолютных давлений (от 0,1 до 1 ата) и в широком диапазоне температур деаэрируемой воды (от 45 до 100 °С).

Деаэрационная установка является двухступенчатой. Первой ступенью является непосредственно центробежно-вихревой деаэратор, в котором удаляется до 99 % агрессивных газов. Второй ступенью является капельный деаэратор (КД) – перфорированная труба, размещенная в аккумуляторном баке деаэратора [2].

В случае если деаэрационная установка в состоянии работать без предварительного нагрева и производить нагрев паром или перегретой водой непосредственно в центробежно-вихревом деаэраторе, можно отказаться от поверхностного подогревателя, что приведет к повышению эффективности работы котельной.

Но если имеет место быть предварительный нагрев воды до температуры насыщения при расчетном давлении (вакууме) в деаэраторе, то деаэрационная установка эксплуатируется без подачи в нее деаэрирующей среды (пара, перегретой воды), т. е. на «начальном эффекте» – за счет вскипания деаэрируемой воды и появление пара непосредственно из деаэрируемой воды.

Таким образом, экономический эффект при вакуумной деаэрации с применением центробежно-капельного деаэратора достигается в результате более низкой температуры кипения воды от 65 до 80 °С в зависимости от глубины вакуума. В свою очередь более глубокий вакуум и подача воды на деаэратор с температурой 65–70 °С приводит к более высокой экономичности и энергетической эффективности котельной при стабильной работе деаэратора в широком диапазоне нагрузок. При этом увеличивается срок службы тепловых сетей не только новых трубопроводов, но и тех трубопроводов, которые свой ресурс значительно исчерпали. Стоит так же отметить, что теплоэнергетическое оборудование при такой системе подвергается коррозии из-за подпиточной воды меньше.

### Источники

1. Энерго- и ресурсосберегающие технологии и аппараты очистки жидкостей в нефтехимии и энергетике / А.Г. Лаптев [и др.] / под ред. А.Г. Лаптева. – Казань: Отечество, 2012. 410 с.

2. Способ термической деаэрации воды с повышенным качеством деаэрации: пат. Рос. Федерация № 2014103514/06; заявл. 03.02.2014; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 22.

УДК 628.16

## МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ ВОДЫ ДЛЯ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

А.А. Баталова<sup>1</sup>, А.А. Филимонова<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>gafialan@mail.ru, <sup>2</sup>aachichirova@mail.ru

Науч. рук. А.А. Чичиров

Целью работы является изучение методов подготовки воды для парогазовых установок. Используют различные методы: химический, мембранный, термический или их комбинацию, наиболее часто применяемые технологии очистки воды.

Выполнен обзор основных технологий водоподготовки на тепловых электрических станциях, рассмотрены их достоинства и недостатки.

**Ключевые слова:** парогазовые установки, водоподготовка, очистка воды.

С начала XXI века в Российской Федерации, как и во всем мире, при проектировании тепловых электрических станций основное предпочтение отдается энергоблокам, с применением парогазовых технологий. Существует несколько причин: во-первых они являются наиболее перспективным направлением развития энергетики, во-вторых позволяет повысить экономическую эффективность и экологические показатели энергосистемы, а также снизить сроки строительства энергоблоков. Только парогазовые установки с котлом-утилизатором, достигают коэффициент полезного действия, при выработке электрической энергии в конденсационном режиме 55–60 %. Поэтому замена энергетических блоков на парогазовые установки осуществляется скорым темпом.

Целью работы является исследовать часто применяемые технологии очистки воды, рассмотреть их достоинства и недостатки.

В настоящее время подготовка обессоленной воды на водоподготовительных установках тепловых электрических станций осуществляется по традиционной технологии, т. е. с применением ионного обмена. Подготовка воды для парогазовых установок в большинстве случаев производится по схеме двухступенчатого ионного обмена с предварительной очисткой и последующей декарбонизацией [1].

Основные достоинства применения ионного обмена сводятся к следующему: возможность автоматизации, надежность работы при различной минерализации исходной воды, распространённость и хорошая апробированность метода, высокая степень деминерализации очищенной воды. Основными недостатками применения технологий ионного обмена являются высокие удельные и материальные расходы реагентов на регенерацию ионообменных фильтров и как результат образование значительного количества кислых, щелочных, а также высокоминерализованных сточных вод.

В настоящее время особый интерес представляют мембранные технологии в подготовке обессоленной воды на тепловых электрических станциях. Обратный осмос является одним из наиболее часто применяемых способов получения обессоленной воды. Преимущества использования физического мембранного способа очистки воды состоят в следующем: компактность установок, экологически безопасный процесс, не требует применения высококонцентрированных кислот и щелочей, а также обладает высокой степенью обессоливания. Основные недостатки данного метода: необходимость дообессоливания пермеата, высокое энергопотребление, высокие требования к качеству воды.

Физические и химические методы подготовки воды для тепловых электрических станций дополняются использованием термических способов подготовки. В основе термического метода лежит принцип концентрирования примесей в процессе парообразования. В качестве очищенной воды в данном случае является конденсат получаемого пара.

В России наибольшую популярность получили испарители кипящего типа «И». Для данного типа испарителей исходная вода проходит предварительную очистку методом двухступенчатого умягчения на установках Na-катионирования либо при комбинации H- и Na-катионирования при параллельном методе организации процесса.

Термическая водоподготовка чаще всего используется для опреснения морских вод, т. е. вод с высокой минерализацией и невозможностью использования других методов обработки. Среди недостатков данного метода является высокая металлоемкость самих испарительных установок, а также невысокое качество полученного конденсата и необходимость дополнительной его очистки [2].

Начиная с 2014 г. на Казанской ТЭЦ-1, Казанской ТЭЦ-2 и Казанской ТЭЦ-3 были введены в эксплуатацию парогазовые установки с котлами-утилизаторами. Схема водоподготовки на Казанской ТЭЦ-1 организована по традиционной технологии с применением двухступенчатого ионного обмена и на конечной стадии («хвосте») установлен фильтр смешанного действия, который позволяет получить глубоко обессоленную воду. На Казанской ТЭЦ-2 установка водоподготовки представляет собой комбинированный тип: обратный осмос и 1 ступень ионного обмена. На Казанской ТЭЦ-3 установка подготовки состоит из 2 ступеней ионного обмена и испарительной установки, которая в настоящий момент по техническим причинам выведена из эксплуатации. По нашим данным наиболее эффективным методом для водоподготовки для парогазовых установок являются комбинированные схемы, как например на Казанской ТЭЦ-2 или двухступенчатый ионный обмен и фильтр смешанного действия на конечном этапе как на КТЭЦ-1.

### **Источники**

1. Гавриленко С.С. Исследование и разработка подходов к проектированию водоподготовительных установок для парогазовых ТЭС: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2014. 20 с.

2. Ларин Б.М. Водный режим и химический контроль на ТЭС и АЭС: проблемы и задачи (по материалам конференций) // Теплоэнергетика. 2018. № 2. С. 50–54.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА ПРИ ПОВЫШЕНИИ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Р.И. Вафина  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
Филиал АО «СО ЕЭС» РДУ Татарстана, г. Казань  
renata.vafina1603@gmail.com  
Науч. рук. А.Ш. Низамова

Описывается система теплоснабжения, её виды, а также рассматриваются вопросы повышения надежности и качества теплоснабжения.

**Ключевые слова:** теплоснабжение, децентрализованное, централизованное, качество, система, надежность.

Система теплоснабжения – это общий комплекс мероприятий (технических устройств, агрегатов и подсистем) для использования тепла, его транспортировки и распределения по зданиям и сооружениям (в соответствии со спросом на теплоту) с целью обеспечения теплового комфорта отдельных потребителей.

Есть два вида теплоснабжения – централизованное и децентрализованное теплоснабжения.

Системы централизованного теплоснабжения – это системы теплоснабжения, городов, поселков и промышленных предприятий. Источниками теплоты служат ТЭЦ или крупные котельные, транспортирующие и распределяющие теплоноситель по тепловым сетям, имеющие высокие КПД, они размещены раздельно, часто на значительном расстоянии.

Системы децентрализованного теплоснабжения – это теплоснабжение от мелких котельных, индивидуальных отопительных печей. Источник теплоты и теплоприемники потребителей совмещены в одном агрегате или размещены столь близко, что передача теплоты от источника до теплоприемников, осуществляется без промежуточного звена, то есть внешних тепловых сетей. Децентрализованное теплоснабжение подразделяют на местное (теплоснабжение от местной котельной) и индивидуальное (печное, теплоснабжение от котлов в квартирах) [1].

Качество систем теплоснабжения – это совокупность установленных нормативными правовыми актами РФ или(и) договором теплоснабжения характеристик теплоснабжения, в том числе термодинамических параметров теплоносителя.



Надежность систем теплоснабжений – это способность систем теплоснабжений, производить, обеспечивать, транспортировать и распределять среди потребителей в необходимых количествах теплоноситель с соблюдением заданных параметров при нормальных условиях эксплуатации.

Надежность систем теплоснабжений является сложное свойство, которое состоит из более простых свойств, таких как долговечность, безотказность, безопасность, сохраняемость, ремонтпригодность:

– долговечность участков тепловых сетей – это свойство работоспособности сохранять до наступления состояния(предельного), когда дальнейшее их использование экономически нецелесообразно или недопустимо;

– безотказность участков тепловых сетей – это способность сохранять рабочее состояние, в течение заданного нормативного срока службы;

– безопасность участков тепловых сетей – это свойство объекта не допускать ситуации, опасные для окружающей среды и людей;

– сохраняемость участков тепловых сетей – это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное, безотказное, долговечное и исправное состояние в течение и после хранения;

– ремонтпригодность – это способность поддержания и восстановления работоспособного состояния участков тепловых сетей путем обеспечения их ремонта с последующим вводом в эксплуатацию, после ремонта [2].

Существуют следующие методы повышения надежности и качества систем теплоснабжения:

- создание автоматизированной диспетчерской службы;
- дистанционный контроль трубопроводов;
- автоматизация источников теплоты;
- создание на трубопроводах защитных покрытий;
- деаэрация теплоносителя;
- обеспечение стабильного гидравлического режима;
- постоянный осмотр действующих тепловых сетей [3].

### **Источники**

1. Пермяков Б.А., Кононович Ю.В. Экономическое и экологическое сравнение централизованной и децентрализованной систем теплоснабжения. М.: МГСУ, 2002.

2. Марков А.Р. Повышение эффективности систем централизованного теплоснабжения // ЭСКО. 2008. № 11.

3. Наладка систем централизованного теплоснабжения: справ. пособие / И.М. Сорокин [и др.]. М.: Стройиздат, 1979. 223 с.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

К.Д. Вьюгова, А.Д. Водениктов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
vjugova.k@yandex.ru  
Науч. рук. А.И. Минибаев

Проведен сравнительный анализ между рекуперативными и регенеративными вращающимися воздухоподогревателями, определены достоинства и недостатки.

**Ключевые слова:** воздухоподогреватель, теплопередача, котел.

Важным фактором, способствующим экономии топлива в современных котельных установках, является подогрев воздуха за счет энергии уходящих газов, увеличивающий испарительную способность котлоагрегата. Это ведет к снижению потерь тепла с уходящими газами и росту КПД котлоагрегата.

Снижение температуры уходящих газов на каждые 17-18 град. дает экономию топлива в 1 %. Применение воздухоподогревателя в современных котельных агрегатах снижает расход топлива на 15 % [1].

По принципу действия воздухоподогреватели делятся на рекуперативные и регенеративные.

В рекуперативных воздухоподогревателях теплота от дымовых газов к воздуху передается непрерывно через стенку. В регенеративных воздухоподогревателях газы сначала нагревают металлическую насадку, а затем теплота, аккумулированная в ней, передается воздуху. Каждый теплообменный элемент регенеративного воздухоподогревателя попеременно омывается то газами, то воздухом.

Регенеративные воздухоподогреватели (РВП) наиболее широко применяются для нагревания первичного и вторичного воздуха в котлах высокой мощности. Ротор устройства разделен на сектора с помощью радиальных уплотнений. В каждом секторе в несколько слоёв располагаются пакеты с теплообменной набивкой (рис. 1).

К достоинствам регенеративного воздухоподогревателя относят компактность и легкость.

В сравнении с конструкциями трубчатого типа РВП имеет меньшие размеры. Компактность достигается за счет большой площади пластин теплообменника. Металлоемкость РВП в 1,7 раз меньше чем у трубчатого воздухоподогревателя (ТВП).

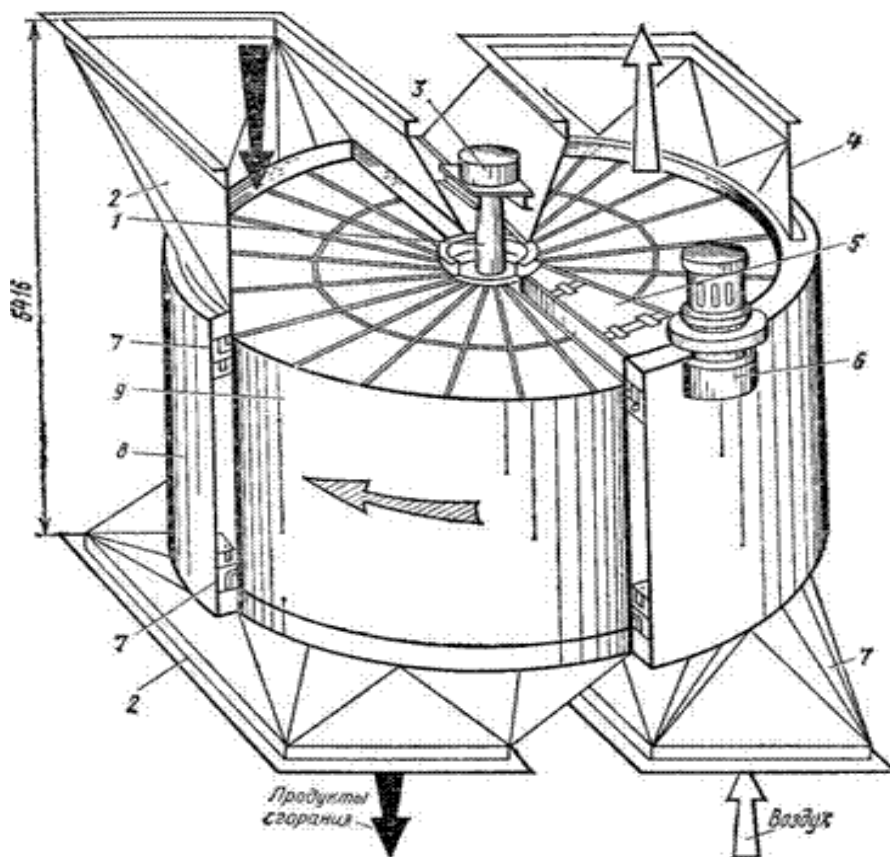


Рис. 1. Вращающийся РВП: 1 – вал ротора; 2 – газовые патрубки; 3 – верхний подшипник; 4 – патрубки для воздуха; 5 – радиальное уплотнение ротора, препятствующее перетеканию воздуха в газовый поток; 6 – электродвигатель с редуктором; 7 – наружное уплотнение ротора; 8 – наружный кожух; 9 – ротор

К недостаткам относят большой переток воздуха в уходящие газы и интенсивную коррозию пакетов холодного слоя.

Основным видом рекуперативных воздухонагревателей является ТВП с вертикально расположенной трубной системой (рис. 2). Внутри труб проходят продукты сгорания, теплота которых передается воздуху, движущимся между трубами.

Основными деталями ТВП являются трубные доски и трубки. Материал для изготовления узлов и деталей воздухоподогревателя выбирается в зависимости от параметров газовой и воздушной среды.

Преимущества трубчатых воздухоподогревателей заключаются в том, что они просты по конструкции, надёжны в работе – обладают лучшей газоплотностью в сравнении с вращающимися воздухоподогревателями. Однако имеются и недостатки: они обладают большими габаритами в сравнении с РВП, а особенности конструкции затрудняют замену поврежденных трубок.

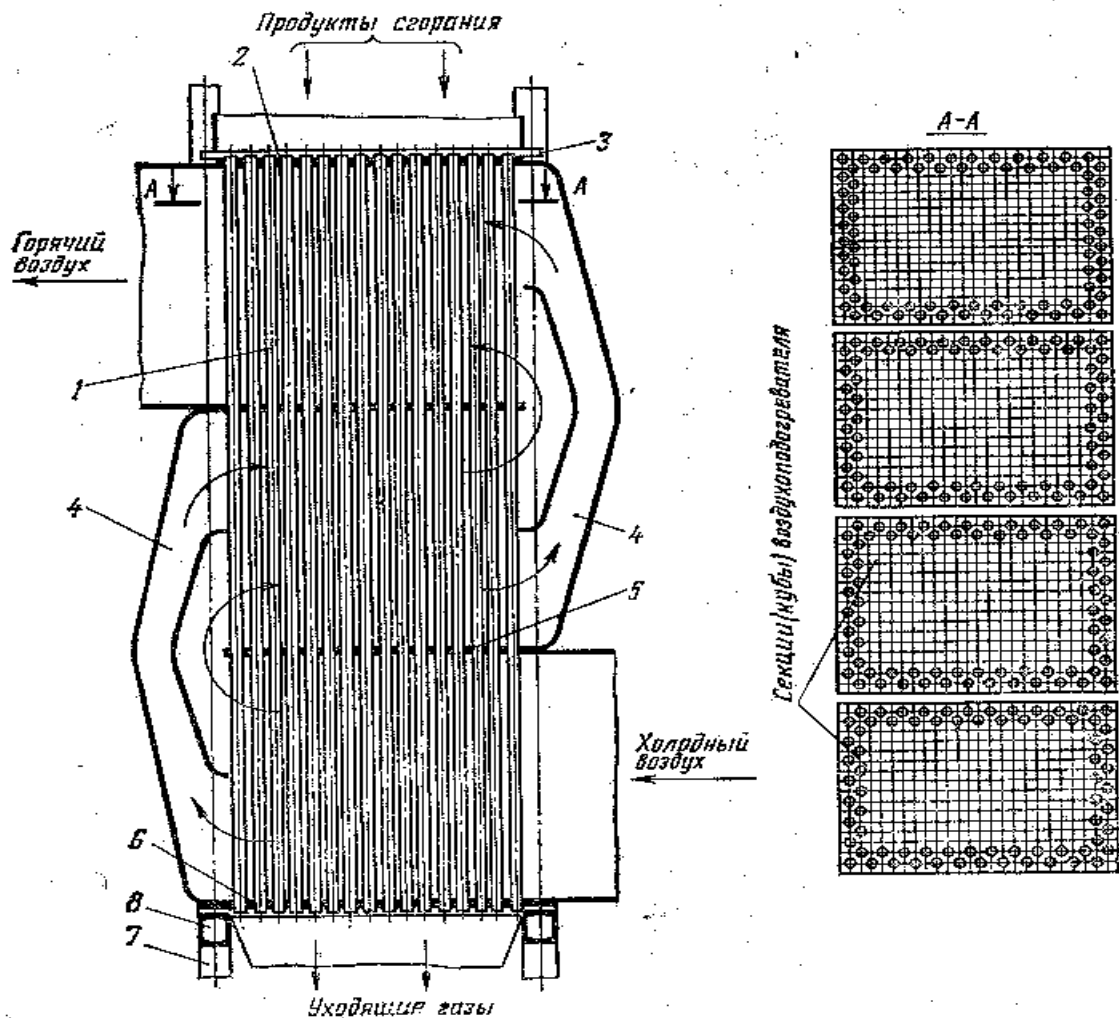


Рис. 2. Трубчатый воздухоподогреватель [2]: 1 – стальные трубы 40×1,5 мм; 2, 6 – верхняя и нижняя трубные доски толщиной 20–25 мм; 3 – компенсатор тепловых расширений; 4 – воздухоперепускной короб; 5 – промежуточная трубная доска; 7, 8 – опорная рама и колонны

Не смотря на принципиальные различия в работе и конструкции, для ТВП и РВП остаются актуальными следующие задачи: поддержание высокой газоплотности, обеспечение повышенной коррозионной стойкости (особенно для угольных котлов), а также разработка и внедрение систем оценки состояния воздухоподогревателей.

### Источники

1. Боткачик И.А. Регенеративные воздухоподогреватели парогенераторов. М.: Машиностроение, 1978. 176 с.
2. Воздухоподогреватели котельных установок / Т.С. Добряков [и др.]. Л: Энергия, 1977. 184 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ КАЗАНСКОЙ ТЭЦ-2

К.А. Гареева<sup>1</sup>, И.М. Шарифуллин<sup>2</sup>

1ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>karinagareeva1997@yandex.ru, <sup>2</sup>chubais.pes@gmail.com

Науч. рук. С.М. Власов

Выполнен анализ работоспособности системы водоподготовки Казанской ТЭЦ-2. Рассмотрена модернизированная система подготовки воды Казанской ТЭЦ-2. Проведены реакционные исследования биологической активности с помощью биодетекторов. В программе BART Soft v6.0 были рассчитаны коррозионные риски, засорения оборудования и риски для здоровья.

**Ключевые слова:** химводоочистка, биодетекторы, дип-слайды, общее микробное число.

В 2010 г. в филиале АО «Татэнерго» Казанская ТЭЦ-2 введен новый энергоблок ПГУ-220 МВт. Для повышения качества подпиточной воды для паровых котлов и теплосети произведена реконструкция системы водоочистки химического цеха. В качестве источника водоснабжения для химводоочистки (ХВО) является р. Волга, которая характеризуется высокой окисляемостью, обычно связанной с присутствием гумусовых веществ, микроводорослей и продуктов жизнедеятельности водных микроорганизмов, а также техногенных примесей (нефтепродуктов). В воде присутствуют вещества, концентрации которых превышают предельно-допустимые (ПДК), железо, взвешенные вещества.

Схема химического цеха КТЭЦ-2 (рис. 1) предусматривает производство обессоленной воды для подпитки котлов и теплосети производительностью 300 м<sup>3</sup>/ч.

Технологическая схема химического цеха включает в себя предварительную очистку исходной воды на сетчатых фильтрах с коагуляцией оксихлоридом алюминия и удаление взвешенных веществ (железа, снижение цветности, основной части органических соединений, извлечение из воды практически всех патогенных микроорганизмов) на микрофильтрационной установке. Обессоливающая установка химического цеха



В исходной (речной) воде Казанской ТЭЦ-2 коррозионный риск незначительный, риски засорения оборудования продуктами жизнедеятельности бактерий находятся в области 6, риск для здоровья незначительный. Это также было подтверждено компанией ООО «Экохимприбор», проводившей опытно-промышленные испытания с использованием технологии обработки воды aqua®LIK на установке обратного осмоса Казанской ТЭЦ-2 [2].

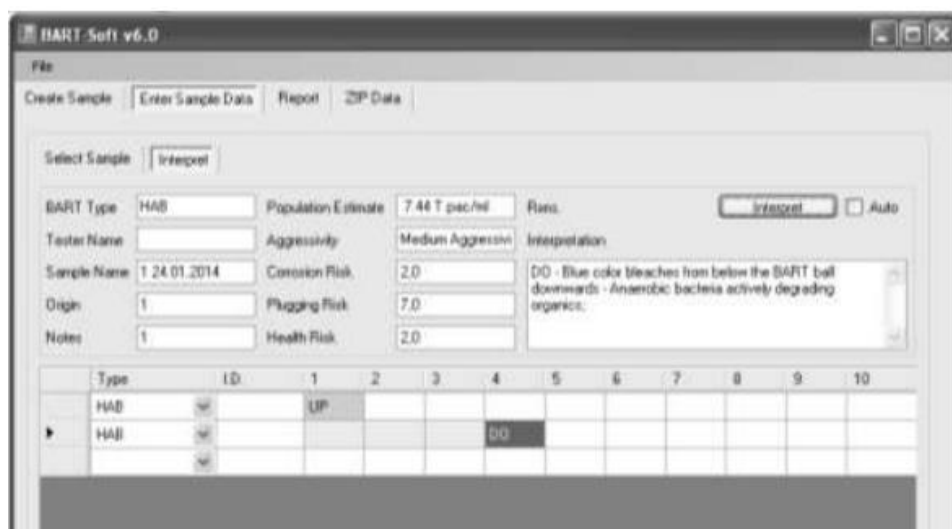


Рис. 2. Интерфейс компьютерной программы BartSoftv6

В результате исследований в точке отбора после осветительной установки реакция не обнаружена. Далее в точке отбора на входе блока микрофльтрации (БМФ) было выявлено общее количество бактерий 6 890 000 КОЕ/мл, что соответствует высокому уровню загрязнений. Следующие измерения по рискам были произведены в программе BART Soft v6.0. Были получены следующие результаты: коррозионный риск находится на среднем уровне; велик риск засорения оборудования продуктами жизнедеятельности бактерий; риск для здоровья человека – выше незначительного.

Для концентрата блока обратного осмоса (БОО) общее микробное число составило 454 000 КОЕ/мл. Расчетным методом были получены следующие результаты: коррозионный риск – незначительный, риск засорения оборудования продуктами жизнедеятельности бактерий находится на высоком уровне, риск для здоровья – незначительный (рис. 3, 4).

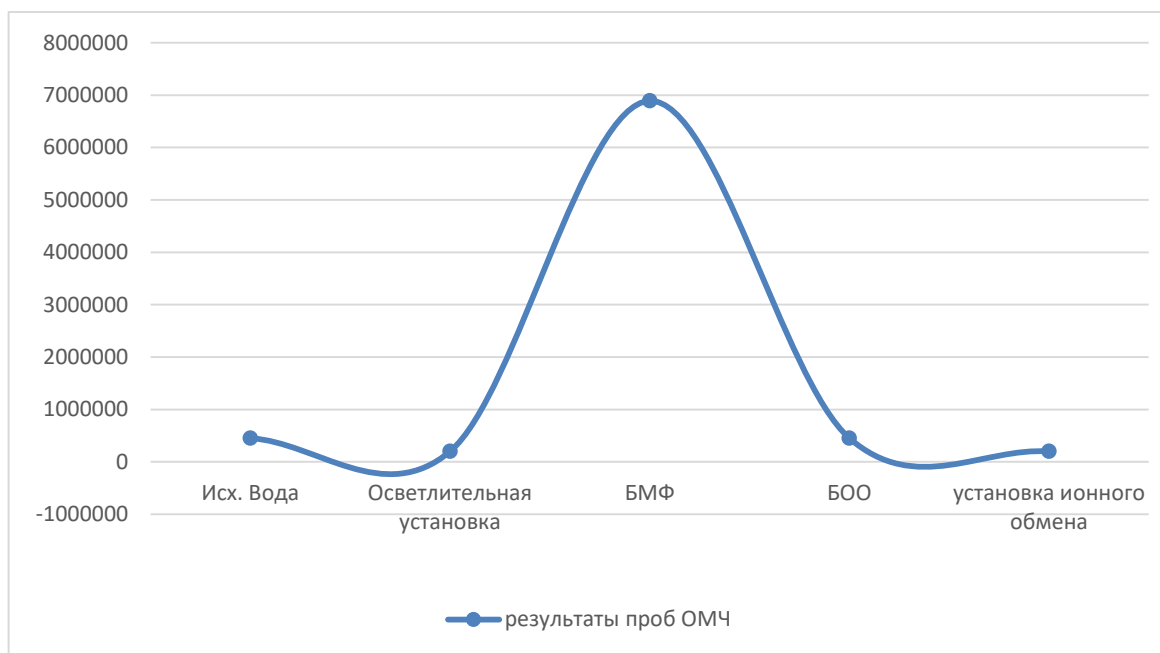


Рис. 3. Результаты исследования проб на общее микробное число

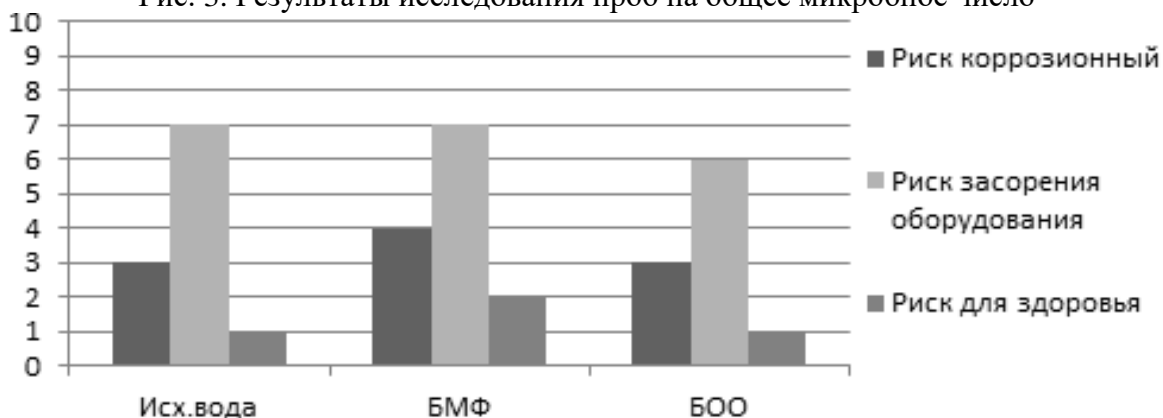


Рис. 4. Результаты исследования рисков, рассчитанных в программе BART Soft v6.0

Таким образом, были выявлены проблемы с биообрастанием на блоке микрофльтрации, что негативно сказывается на мембранном материале. При изменении водно-химического режима блоков обессоливающей установки химического цеха, возможно, увеличить ресурс работы модулей до 40 %, сократить расход собственных нужд на 15 %.

Работа выполнена при финансовой государственной поддержке молодых российских ученых – докторов наук при Президенте Российской Федерации МК-1312.2021.4 (конкурс МК 2020 г.).



## Источники

1. Methods to reduce bacterial contamination of recycling cooling systems of a CHPP / N.D. Chichirova [et al.] // Therm. Eng. 2015. Vol. 62. Pp. 520–525.

2. Отчет опытно-промышленных испытаний технологией обработки воды aqua®LIK на установке обратного осмоса Казанской ТЭЦ-2. Казань, 2017.

УДК 628.315

## МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

А.М. Гарифуллина  
ФГБОУ ВО КГЭУ, г. Казань  
garifullina200121@gmail.com  
Науч. рук. Б.А. Гильфанов

Одной из глобальных проблем человечества является загрязнение воды бытовыми и промышленными выбросами. Для решения данной проблемы приводятся различные методы очистки сточных вод.

**Ключевые слова:** экологическая проблема, вода, сточные воды, загрязнения, флотация, ТЭС.

Вода играет большую роль в процессе жизнедеятельности человека. Она необходима для множества разных функций (питьевых, гигиенических, сельскохозяйственных и производственных). Одной из главных экологических проблем является загрязнение окружающей среды, в том числе и воды. Потому что при использовании воды людьми, она изменяет свои первоначальные природные свойства, состав и становится вредной для человека в санитарном отношении [1]. Эта загрязненная вода называется сточной.

Сточные воды – это пресные воды, изменившие после использования в бытовой и производственной деятельности человека свои физико-химические свойства и требующие отведения [2].

По происхождению сточные воды могут быть классифицированы на следующие: бытовые, производственные и атмосферные [2, 3].

По своей природе загрязнения сточных вод подразделяются на органические, минеральные, биологические [2, 4].

Тепловые электрические станции (ТЭС) наносят существенный вред окружающей среде. Степень загрязнения сточных вод определяется их химическим составом. Одними из опасных для источников воды (рек, озер, морей и океанов) являются сбросы, которые содержат масло- и нефтепродукты, тяжелые металлы.

Существует множество различных методов очистки сточных вод, таких как мембранный, со свободно плавающим илом, сорбция, флотация и др. Но всех их можно объединить в три основных этапа: механический, физико-химический и биологический.

Механическая очистка позволяет удалить крупные частицы из воды, очищая воду от 60–70 % минеральных загрязнений.

Самый распространенный и эффективный этап – физико-химическая очистка. Задачей данного метода является удаление загрязнений, которые остались после механической очистки, в виде взвешенных и растворенных веществ. Существует несколько методов физико-химической очистки. К ним относят: коагуляцию, флотацию, ионный обмен, адсорбцию и др.

Рассмотрим один из них. Флотация позволяет поднимать загрязнения (примеси) на поверхность, благодаря пузырькам воздуха, которые образуются во флотационной установке. Пену, которая образуется сверху достаточно легко удалить. Данный метод хорошо действует при очистке сточных вод от масло- и нефтепродуктов. Ниже на рисеурт представлена схема флотационной установки.

Основной этап – биологическая очистка. Она осуществляется микроорганизмами, которые очищают растворенную часть загрязнений сточных вод. Биологическая очистка может быть как естественной, так и искусственной. Так как естественная биологическая очистка не всегда доступна из-за грунта и климата (уровень грунтовых воды должен проходить ниже 1 м от поверхности, а температура воздуха выше 10 °С), используют искусственную биологическую очистку. К таким сооружениям относятся биофильтраторы, биофильтры на основе пеностекла и пласт-масс, аэрационные установки на основе аэробной стабилизации лишнего активного ила, биодисковые фильтры и др.

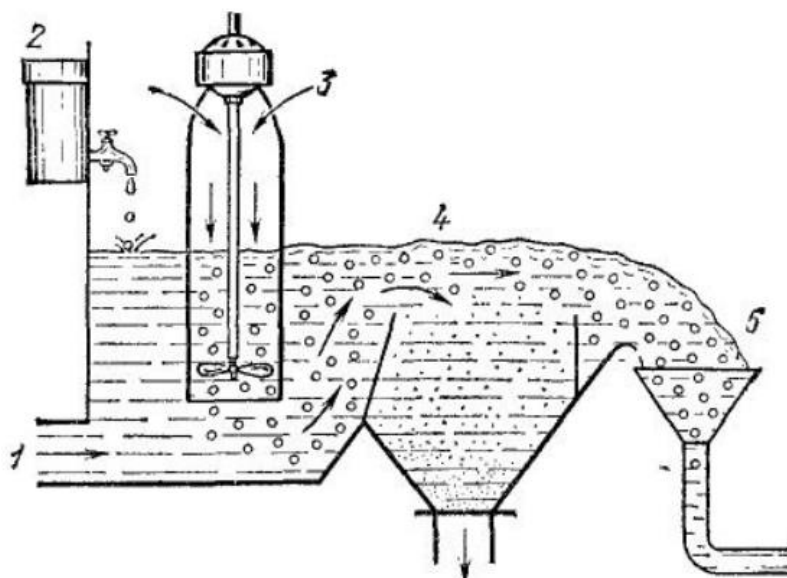


Схема флотационной установки: 1 – труба, по которой поступает взвесь измельченной руды в воде; 2 – сосуд, из которого капает флотационный реагент (масло); 3 – поступление воздуха, засасываемого винтом; 4 – место, где всплывшая полезная порода отделяется от оседающей пустой породы; 5 – сток пены с полезной породы (концентрат)

Таким образом, данный комплекс мер по очистке сточных вод от промышленных и бытовых загрязнений помогает обеспечить ее качество и безопасность для потребителя и предприятий.

### Источники

1. Гильфанов Б.А. Водопотребление и водоотведение современных городов // Тинчуринские чтения: матер. XIV Междунар. молод. науч. конф. / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова. Казань, 2019. Т. 2. С. 29–33.

2. Воронов Ю.В., Яковлев С.В., Водоотведение и очистка сточных вод: учеб. для вузов. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 704 с.

3. Гильфанов Б.А., Власов С.М., Системы водоочистных сооружений // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: матер. IV Нац. науч.-практ. конф. Казань, 2019. С. 428–430.

4. Гильфанов Б.А. Очистка сточных вод с применением электромембранных технологий в энергетике // Теплоэнергетика: матер. 15-й Всерос. (7-й Междунар.) науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Иваново, 2020. С. 8.

## ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ ТЭС

Б.А. Гильфанов  
ФГБОУ ВО КГЭУ, г. Казань  
b\_gilfanov@bk.ru  
Науч. рук. Н.Д. Чичирова

Описан метод исследования структуры метастабильных карбонатных растворов, основанный на получении рК- и рН-спектров растворов по данным потенциометрического титрования. Приведен способ расшифровки, получены уравнения для расчета координат спектров. При производстве тепловой и электрической энергии на современных тепловых электрических станциях (ТЭС) оперируют с водными системами, имеющими постоянно продуцирующую фазовую нестабильность.

**Ключевые слова:** ТЭС, потенциометрическое титрование, теплоноситель, вода, водоотводящие системы, водоочистка, инновационные технологии, водоподготовка.

Одним из источников образования осадков на оборудовании теплоэнергетических установок являются фазово-нестабильные растворы, возникающие на разных этапах движения теплоносителя, что объясняется изменением концентрации компонентов, щелочности среды, температуры, давления и другими факторами [1, 4]. Рассмотрели метод рН-метрии (потенциометрии) для выявления подобных систем и анализа эффективности ингибиторов осадкообразования.

Целью проводимого исследования является:

- воспроизведение рН-спектров для системы, в которой реализуется фазово-нестабильный раствор;
- получение характеристики рН-спектров для этой системы;
- возможность использования фосфоната «АКТИФОС» в качестве ингибитора осадкообразования (стабилизатора раствора) [2, 5, 6];
- получение данных о влиянии природы катиона щелочного металла ( $\text{Li}^+ - \text{Na}^+ - \text{K}^+$ ) на рН-спектры в рассматриваемой системе [7, 8].

Титрование проводили в закрытой от атмосферы потенциометрической ячейке с рабочим стеклянным электродом и хлорсеребряным электродом сравнения. В ходе титрования раствор перемешивали магнитной мешалкой. Стеклянный электрод калибровали по стандартным

буферным растворам. Полученные результаты представляли в виде зависимостей в координатах  $\text{pH}-\Delta\text{pH}/\Delta V$ . Результаты  $\text{pH}$ -метрического и объемного титрования, математически обработаны для получения графических зависимостей рисунок 1, 2  $\text{pH}$ -спектров для одного раствора.

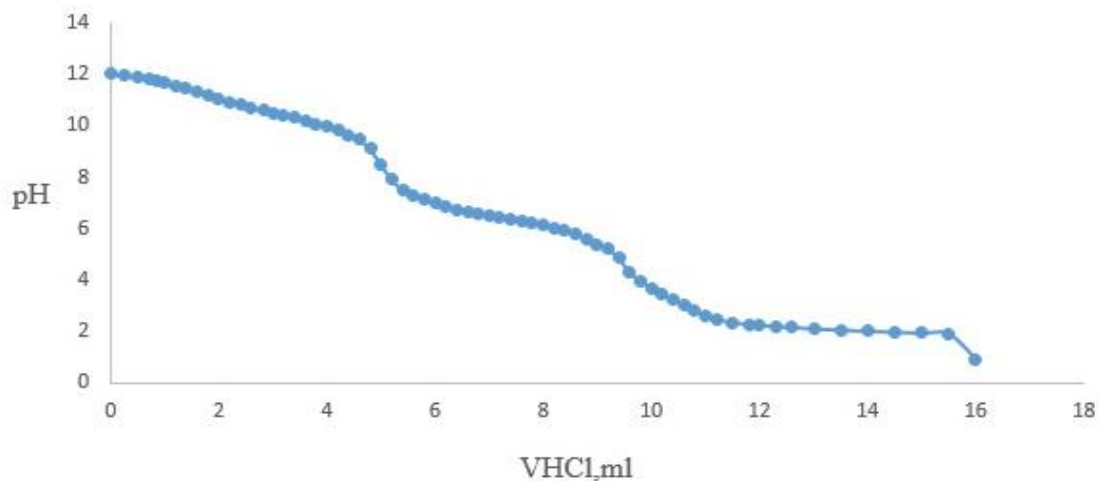


Рис. 1. Кривая потенциметрического титрования для раствора (состав МР:  $\text{CaCl}_2\text{-Li}_2\text{CO}_3\text{-LiOH-H}_2\text{O}$ )

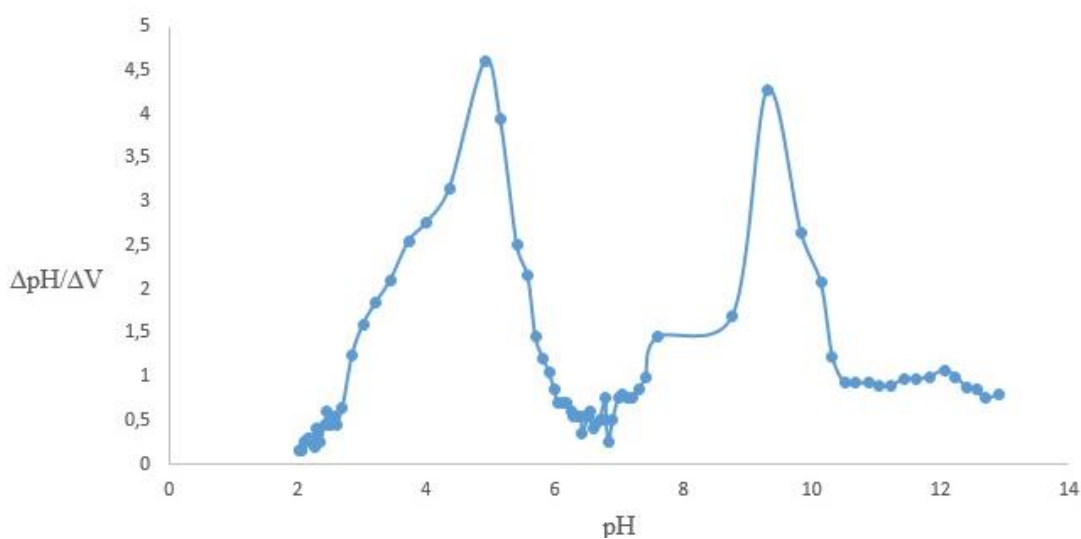


Рис. 2.  $\text{pH}$ -спектр для раствора (состав МР:  $\text{CaCl}_2(2\text{mM})\text{-Na}_2\text{CO}_3(10\text{mM})\text{-NaOH}(20\text{mM})$ )

Ка видно из рис. 1. и 2,  $\text{pH}$ -спектры свидетельствуют о наличии (или отсутствии) фазово-нестабильных растворов, а также позволяют получить точные данные по расходу титранта в точках эквивалентности, обычно получаемые объемным методом с индикаторами фенолфталеином и метилоранжем [9].

Характеристики рН-спектра в рассматриваемой системе для пробы по экспериментальным результатам приведены в таблице [3, 4].

Характеристики рН-спектра в рассматриваемой системе для пробы по экспериментальным результатам

Пик	Значение рН	Условие в точке эквивалентности	Формулы расчета рНэкв	
			Раствор $\text{Na}_2\text{CO}_3+\text{NaOH}+\text{CaCl}_2$	рН
Гидрокарбонатный	3...5	$[\text{HCO}_3^-]=[\text{H}^+]$	$0,5(\text{pK}_1 - \lg C(\text{CO}_2))$	4
Кальций карбонатный	6,8...8	$[\text{CaCO}_3]=[\text{CO}_2]$	$0,5(\text{pK}_1 + \text{pK}_2 - \lg C(\text{Ca}_2) + - \lg C(\text{CO}_2) - 0,5\text{pIP})$	7,6
Карбонатный	8...8,2	$[\text{CO}_3^{2-}]=[\text{CO}_2]$	$0,5(\text{pK}_1 + \text{pK}_2)$	8,3
Гидроксильный	10,5...11,5	$[\text{OH}^-]=[\text{HCO}_3^-]$	$0,5(\text{pK}_2+14 + \lg C(\text{CO}_2))$	11

Полученные данные и анализ рН-спектров для фазово-нестабильных растворов в отсутствие и присутствии фосфонатов позволяют считать, что рН-метрический метод является ускоренным и менее трудоемким для экспериментальной оценки эффективности ингибирующего действия фосфонатов.

### Источники

1. Методы анализа фазово-нестабильных сред в водных теплоносителях ТЭС и систем теплоснабжения / А.Г. Филимонов [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2012. № 5-6. С. 11–16.
2. Комплексная реагентная обработка воды системы технического водоснабжения с градирнями на ТЭС / А.А. Чичиров [и др.] // Труды Академэнерго. 2012. № 1. С. 90–100.
3. Разакова Р.И., Гильфанов Б.А. Исследования влияния концентрации и природы компонентов на углекислотное равновесие в системе  $\text{CaCl}_2\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaOH-H}_2\text{O}$  методом потенциометрического титрования.// Тинчуринские чтения: матер. докл. X Междунар. молод. науч. конф. / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова. Казань, 2015. Т. 2. 91 с.

4. Потенциометрический и рН-спектроскопический анализ слабощелочных карбонатных метастабильных растворов / А.Г. Филимонов [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. 2012. № 1. С. 11–14.

5. Комплексный ингибитор соледержания, коррозии и биообратаний на основе органических фосфонатов / Б.Н. Дриккер [и др.] // Водоподготовка и водоподготовительные оборудование. 2010. № 1 (63). С. 4–6.

6. Балабан-Ирменин Ю.В. О необходимости учитывать влияние природной органики при выборе режима применения антинакипинов в энергетике // Энергосбережение и водоподготовка. 2010. № 1. С. 7–12.

7. Брусов К.Н. О дисперсной карбонатно-кальциевой накипи при ингибировании фосфонатами // Энергосбережение и водоподготовка. 2011. № 1. С. 31–33.

8. Комплексная реагентная обработка воды системы технического водоснабжения с градирнями на ТЭС / А.А. Чичиров [и др.] // Труды Академэнерго. 2012. № 1. С. 90–100.

9. Potentiometric analysis of metastable carbonate water coolants of thermal power plants and heat supply systems / A.A. Chichirov [et al.]. DOI: 10.1088/1755-1315/288/1/012004 // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2019. Vol. 288.

УДК 697.34

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ

А.А. Гусева<sup>1</sup>, Ю.В. Абасев<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>aalina.gu@gmail.com, <sup>2</sup>abasev@inbox.ru

Описаны возможные способы повышения эффективности работы тепловых пунктов. При этом отдельное внимание уделяется вопросу модернизации тепловых пунктов, эффективность которых зависит от множества факторов, контролирование которых позволяет достичь желаемых результатов с точки зрения эффективности теплоснабжения.

**Ключевые слова:** тепловой пункт, система теплоснабжения, повышение эффективности работы.

Климатические и погодные условия России привели к развитию систем теплоснабжения централизованного типа. Имеющийся износ тепловых сетей приводит к частым авариям и нештатным режимам работы системы теплоснабжения. Также на эффективность работы системы централизованного теплоснабжения оказывает режим работы систем теплоснабжения. Наиболее эффективным в сложившейся ситуации является модернизация тепловых пунктов в соответствии с современными требованиями [1].

Модернизация должна включать оснащение теплового узла приборами учета, так как качественное регулирование возможно лишь при условии достаточного мониторинга расхода и потребления тепловой энергии. Тепловые узлы снабжают автоматическими регуляторами теплового потока, регулирующими отпуском тепловой энергии в соответствии с показаниями наружных датчиков погодного регулирования.

Подобный подход к применению оборудования называют местным или абонентским автоматическим регулированием. Такой подход сохранения конструкции системы отопления и горячего водоснабжения, при этом не исключает ее в последующем [2].

Одним из способов повышения эффективности работы тепловых пунктов является отказ от использования гидроэлеватора в пользу насосов. Это позволяет применить автоматическое регулирование насосов. Причем в случае применения частотного регулирования производительности насосов расход электроэнергии на привод насоса является минимальным [3].

Рассмотренные способы повышения эффективности работы тепловых пунктов оказывают значительное влияние на режим теплоснабжения абонента. При этом реализуется переход от качественного способа регулирования к качественно-количественному способу, при котором расход тепловой энергии корректируется температурой и расходом теплоносителя.

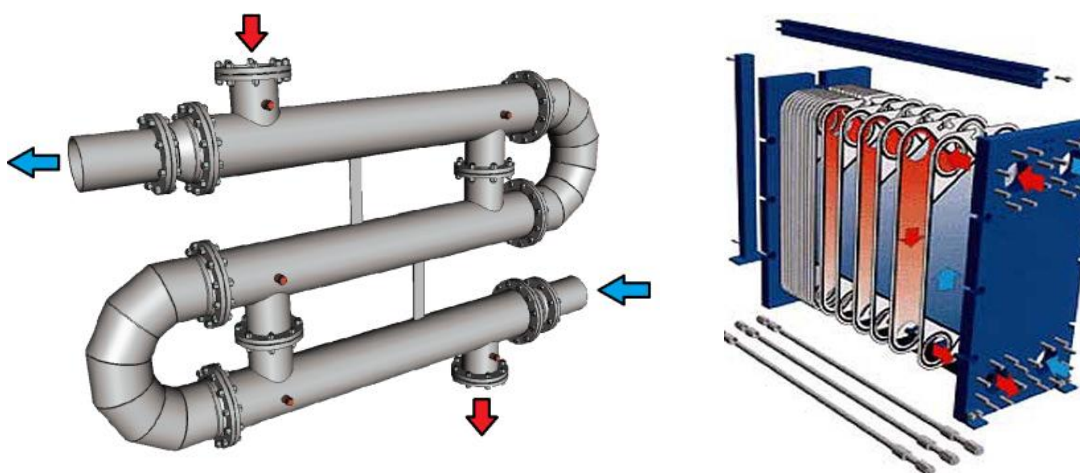
Кроме этого, работа терморегуляторов приводит к колебаниям расхода теплоносителя, для устранения которых применяются регуляторы расхода [4].

Автоматизация тепловых пунктов может осуществляться единовременно или поэтапно. Чаще всего при оптимизации работы рассматриваются тепловые узлы уже введенные в эксплуатацию.

При этом системы теплоснабжения зданий остаются неизменными, но с целью достижения большей эффективности на отопительных приборах в помещении могут быть установлены автоматические терморегуляторы.



Еще одним способом модернизации тепловых пунктов является замена кожухотрубных теплообменных аппаратов на пластинчатые, являющиеся более компактными и эффективными. Кожухотрубные аппараты с гладкими, оребренными или профилированными трубками и пластинчатые (см. рисунок), в которых поверхность теплообмена образована плоскими или гофрированными листами [5]. На рисунке нагреваемая среда обозначена синим цветом, а греющая – красным.



Кожухотрубный теплообменник (слева), пластинчатый теплообменник (справа)

На рисунке слева показано движение теплоносителей в пластинчатом теплообменнике.

Важным фактором, влияющим на повышение эффективности работы тепловых пунктов, также является подготовка квалифицированных кадров в области энергоснабжения объектов жилищно-коммунального хозяйства [6].

Таким образом, с целью улучшения работы теплового пункта теплового пункта целесообразен переход к автоматизированным системам управления узлами, что позволяет достичь более эффективных показателей его работы и избежать возможных нежелательных последствий в виде аварий. Кроме того модернизация теплового узла позволяет оптимизировать распределение тепловой нагрузки, контролировать гидравлический режим в сети, уменьшить расход теплоносителя, обеспечить экономию энергоресурсов.

## Источники

1. Мингалимова Н.Р. Энергосбережение в республике Татарстан путем внедрения индивидуальных тепловых пунктов // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве. 2017. С. 250–251.

2. Полковникова И.М. Оптимизация регулирования тепловой нагрузки систем теплоснабжения // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности. 2020. С. 315–316.

3. Линков Д.С., Драбкина Е.В. К вопросу об энергоэффективности центральных тепловых пунктов // Приоритеты мировой науки: эксперимент и научная дискуссия. 2019. С. 12–17.

4. Конкурогов Д.В., Тимохин А.Н. Регулирование температуры в системе отопления на центральном тепловом пункте // Сб. науч. тр. кафедры автоматики и промышленной электроники с участием зарубежных партнеров. 2017. С. 10–16.

5. Севертока А.В. Актуальность применения автоматизированных узлов управления в тепловых пунктах // Актуальные теории, концепции, прикладной характер современных научных исследований. 2019. С. 9–10.

6. Теплоснабжающий полигон с блочным тепловым пунктом для подготовки кадров в области энергоснабжения объектов жилищно-коммунального хозяйства / Н.Д. Чичирова [и др.] // Современные аспекты и актуальные вопросы разработки и применения профессиональных, образовательных и технических стандартов: сб. матер. Междунар. науч.-метод. конф. 2017. С. 20–24.

УДК 691-422

## ТЕПЛОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ НОВОГО ПУСТОТЕЛОГО СТРОИТЕЛЬНОГО КИРПИЧА

А.И. Драцкая

МБОУ «Гимназия № 5», г. Королёв

dratskayaa@yandex.com

Науч. рук. А.А. Скворцова

Предлагается в пустотелом строительном кирпиче выполнить перегородку в виде линии Штейнера, то есть самой короткой линии, соединяющей четыре вершины квадрата. Такая перегородка может создать в кирпичной кладке воздушный столбик по всей высоте. Теплоизоляция улучшится воздушным столбиком, а прочность будет обеспечена материалом перегородки и стенками кирпича. Изготовлены бетонные образцы новых кирпичей. Проведены тепловые испытания. Высказана гипотеза, что новый кирпич выгоден для огнеупорных сооружений.

**Ключевые слова:** строительные материалы, кирпич, пустотелый кирпич, теплоизоляция, тепловые свойства, огнеупорные материалы.

Пятый год я изучаю свойства и применение на практике линии Штейнера. Линия Штейнера – это самая короткая линия, которая соединяет четыре вершины квадрата. Я уже предложила применять эту линию для создания новых лёгких и прочных композиционных материалов, для прокладки траншей в жилищно-коммунальном хозяйстве и для создания новой трубы, по которой можно перекачать сразу четыре вида жидкости или газа. Идея нового применения линии Штейнера появилась на стройке, когда на глаза попался пустотелый строительный кирпич. Что будет, если перегородки в пустотелом кирпиче сделать в виде линии Штейнера? В этом случае внутри кирпича будет меньше всего керамики, бетона или глины, но больше всего воздуха, который почти не проводит тепло. Значит, такой кирпич будет самым тёплым. В этой работе высказана гипотеза о хороших тепловых свойствах нового кирпича, но сами свойства будут изучены опытным способом. Для проведения опытов нужно изготовить несколько новых кирпичей и сравнить их со старыми образцами [1]. Сначала было решено изготовить новые кирпичи из бетона, а потом перейти на глину, чтобы можно было провести обжиг. В этой работе рассказано только о бетонной технологии отливки новых пустотелых строительных кирпичей. Изготовлены три вида новых образцов, потому что в стандартном кирпиче тремя способами можно разместить два квадрата с двумя линиями Штейнера. Три вида новых кирпичей позволят во время кладки изготовить столбик Штейнера от пола до потолка, внутри полостей будет воздух, который почти не проводит тепло. Три вида кирпичей позволяют выполнять кирпичную кладку любых конструкций: стен, углов, перегородок. При этом вертикальный столбик теплоизоляции везде будет сохраняться. Воздух не только плохо проводит тепло, но и звук тоже, поэтому новые кирпичи надо будет испытать как в тепловом отношении, так и на звукоизоляцию, но это следующие этапы работы, а здесь показана только технология изготовления опытных образцов. На рис. 1 показаны три основных типоразмера предлагаемого нового пустотелого кирпича. Первые две заглавные буквы перед габаритными размерами кирпича, указанными в миллиметрах, обозначают ориентацию перегородок двух ячеек Штейнера: В – вдоль длины кирпича, П – поперёк длины кирпича.



Рис. 1. Три вида кирпичей с перегородками Штейнера

Исследование теплопроводности нового кирпича выполнено на бетонных образцах. Сначала было решено изготовить модели новых кирпичей из бетона. Для этого была создана специальная форма для заливки раствора бетона. Внутренние перегородки в опалубках картонные.

Изготовление лабораторной установки для тепловых испытаний было выполнено во время летней научно-производственной практики при столярных работах [2]. Лабораторная установка – это ящик из пенопласта «Пеноплекс-50» с толщиной стенок 50 мм, но в ящике нет одной стенки, потому что туда помещается кирпич. В этот ящик помещается банка с горячей водой. Была найдена специальная банка из жести от формы для заливки строительных кирпичей. К этой банке как можно плотнее прислоняется кирпич ложковой гранью, а другая ложковая грань выступает из установки и охлаждается воздухом. Пустоты между банкой и пенопластом я заполнила строительной ватой. Цель опыта заключается в определении скорости остывания воды в баночке, помещённой в пенопластовый ящик. Пенопласт и строительная вата почти не проводят тепло, поэтому всё тепло идёт от баночки с горячей водой в кирпич, а потом наружу. Чем медленнее остывает вода, тем лучше кирпич будет сохранять тепло в доме. Температуру я измеряла термопарами. Самая важная пока для меня – это температура воды, которую я измеряла каждые 15 минут. На рис. 2 показана схема лабораторной установки со снятой верхней пенопластовой крышкой и откинутой строительной ватой.

Мои новые кирпичи типа ВВ и ПП оказались почти одинаковыми по тепловым свойствам и почти в два раза теплее полнотелого монолита М300. Из этого сразу можно сделать два вывода. Во-первых, не нужно испытывать кирпич типа ВП, потому что он занимает промежуточное положение между кирпичами типа ВВ и ПП. Свойства моего нового кирпича типа ВП будут примерно такими же, как у кирпичей ВВ и ПП. Во-вторых, может быть все доводы и полученные результаты напрасны, потому что на тепловые свойства кирпича влияет только его пустотность? Под пустотностью понимают отношение объёма полостей к полному объёму кирпича.



Рис. 2. Лабораторная установка для тепловых испытаний

Появилась ещё одна задача. Надо было проверить тепловые свойства традиционных кирпичей с той же пустотностью, что и мои кирпичи. Покупать кирпич было нельзя, потому что я применяю пескобетон М300. Пришлось изготовить специальный кирпич традиционного вида с круглыми отверстиями. Отверстий было сделано 18, диаметр каждого 25 мм. В таком кирпиче пустотность 40 % такая же, как в моих новых кирпичах ВВ и ПП. На рис. 3 показано остывание воды с установке со всеми испытанными кирпичами, вставленными в пенопластовый ящик по очереди. Нижний график показывает остывание воды с традиционным кирпичом с круглыми отверстиями. Традиционный кирпич удерживает тепло хуже, чем мои новые кирпичи ВВ и ПП.

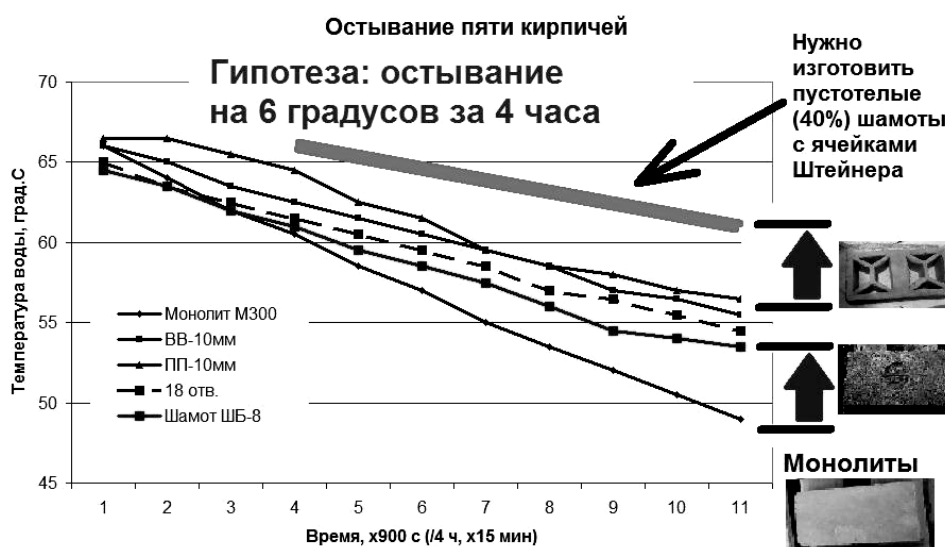


Рис. 3. Результаты тепловых испытаний кирпичей

Недостаток работы заключается в отсутствии шамотного кирпича моего типа (ВВ, ПП или ВП). Я решила перенести полученные данные на кирпич, которого пока нет – мой новый пустотелый шамотный кирпич. Я рассуждаю так. Мои новые кирпичи из пескобетона М300 во столько раз лучше монолита М300, во сколько раз мой новый пустотелый шамотный кирпич будет теплее монолита из шамота ШБ-8. На сколько поднялся график для бетонных кирпичей над бетонным монолитом, на столько же должен подняться график нового шамотного пустотела над шамотным монолитом. Это верхний график. Я выдвинула гипотезу, что новый шамотный пустотел с ячейкой Штейнера будет остывать в моей установке на 6 градусов за 4 часа, то есть со скоростью полтора градуса в час. Это будет самый тёплый кирпич. Дому, русскую печь или их части можно сложить новыми кирпичами для теплоизоляции и сохранения энергии.

Вывод. На тепловые свойства кирпичей влияет не только пустотность, но и форма пустот. Ячейка Штейнера самым коротким способом соединяет четыре вершины квадрата, поэтому новые кирпичи оказались на 39% теплее монолитных и на 12% теплее аналогичных с той же пустотностью.

### **Источники**

1. Драцкая А. Технология изготовления новых строительных кирпичей [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/JYrYg1B2Yts> (дата обращения: 17.02.2021).

2. Драцкая А. Тепловые испытания новых строительных кирпичей [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/bQzxxKt003M> (дата обращения: 17.02.2021).

УДК 004.942

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СЖИГАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В ТОПКЕ КОТЛА ТП-14А ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ ВЫБРОСОВ**

Е.С. Желтухина  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
elizavetazheltukhina@ya.ru  
Науч. рук. М.Г. Зиганшин

Рассмотрены вопросы образования токсичных элементов в воздухе городской зоны, которые образуются при существующих методах термической обработки твердых коммунальных отходов. Вопросы снижения содержания вредных выбросов

в продуктах горения изучаются на основе численного эксперимента средствами вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics, CFD). Определены температурные, скоростные и концентрационные поля в топке исследуемого котла. По результатам выполненных расчетов анализируются числовые значения давления и содержания углекислого газа в топке котла ТП-14А.

Ключевые слова: атмосферные загрязнения, промышленность, сжигание, оксиды азота, диоксины и фураны, численное моделирование, вычислительная гидродинамика, угольная пыль.

Загрязнение воздуха городской зоны является одним из основных факторов риска для здоровья общества. Негативное воздействие на состояние атмосферного воздуха оказывает постоянное взаимодействие человека с окружающей средой.

Основными источниками загрязнения воздушного бассейна считаются транспорт, большая энергетика, промышленность и объекты ЖКХ со своей инфраструктурой, включая очистные сооружения и полигоны твердых коммунальных отходов (ТКО). Подходя к проблеме национального здоровья с учетом токсического воздействия загрязнителей различных источников и определяя в соответствии с этим их числовые рейтинговые оценки, например, по методике [1], можно обнаружить, что влияние ТЭС и районных котельных на городской воздух преувеличено. Замена крупных источников выбросов множеством мелких рассредоточенных вплоть до индивидуальных теплогенераторов в многоэтажных домах, привела к снижению роли централизованной генерации в загрязнении воздушной среды.

Числовая оценка токсичности источников выбросов по методике [1] также показывает, что с точки зрения загрязнения воздушного бассейна городов крупные и мелкие генерирующие устройства даже совокупно не опережают предприятий ЖКХ, занимающихся оборотом твердых и жидких коммунальных отходов. Так называемый «свалочный» газ – продукт разложения бытовых отходов без доступа кислорода, выделяющийся на полигонах ТКО, без учета токсичности всех его компонентов рассматривается в основном как несущественный источник атмосферного выброса. Как правило, о его количестве и составе имеются только приблизительные сведения. Выход «свалочного» газа на крупных полигонах не превышает 5 тыс. м<sup>3</sup>/ч, что несравнимо меньше выбросов ТЭС. При этом на 90 % и более он состоит из углекислого газа, аммиака и метана. Все это характеризовало бы его как несущественный источник атмосферного выброса, но оставшаяся часть загрязнителей представлена высокотоксичными веществами, в том числе фуранами, пиранами

и диоксинами, суммарная концентрация которых может достигать до 1,2 мг/м<sup>3</sup>. Такой уровень концентрации слаботоксичных соединений в выбросах несущественен, однако фураны и пираны сами относятся к высокотоксичным и, вдобавок, служат индикаторами наличия полихлорированных дибензо-*p*-диоксинов и дибензофуранов (ПХДД/Ф) – химически стойких высокотоксичных загрязнителей, способных накапливаться в тканях организмов [2, 3]. Некоторые из них (например, 2,3,7,8-тетрахлор-*p*-дибензодиоксин) чрезвычайно токсичны и могут вызывать различного рода заболевания, гормональные нарушения и поражения иммунной системы. Поэтому ПДК ПХДД/Ф на порядок ниже, чем ПДК боевых отравляющих веществ, и на 7-8 порядков ниже, чем ПДК NO<sub>x</sub> и CO, т. е. выброс 1 мг диоксина соразмерен с выбросом 10–100 кг NO<sub>x</sub>.

Достаточно распространено непосредственное сжигание бытового мусора в качестве твердого топлива в топках парогенераторов «мусорных» ТЭС (МТЭС). Вместе с тем это основные поставщики ПХДД/Ф в атмосферу. Для уменьшения образования токсичных соединений при сжигании как традиционного топлива, так и мусора, особенно важно определить последовательность элементарных стадий трансформации исходных компонентов в термоокислительной зоне. Образовавшиеся в высокотемпературной зоне промежуточные продукты при ее охлаждении реагируют между собой до конечных продуктов, и в интервале от 650 до 250 °С [4] формируются ПХДД/Ф. Считается, что их основная часть конденсируется на взвешенной в продуктах сгорания золе, в связи с чем становится особенно важным использование технологий с высокой степенью очистки дымовых газов от взвесей [5].

В работе рассматриваются результаты численного моделирования топки парового котла Е-220/100 (ТП-14А, ОАО ТКЗ «Красный котельщик») паропроизводительностью 220 т/ч.

Геометрическое моделирование топки ТП-14А для исследования сгорания мусора выполнялось с помощью программного продукта Gambit. Сначала в программе Gambit была выполнена геометрически точная модель топки с холодной воронкой и всеми горелками (рис. 1, а). Однако неструктурированная гексаэдральная сетка в ней средствами Gambit не сгенерировалась, по-видимому, из-за сложности связывания фронтальных горизонтальных и наклонных горелок прямоугольной формы и боковых круглых горелок. Поэтому было решено оставить только основные фронтальные горелки; при этом отказались также и от воронки как создающей заметное усложнение модели при несущественном влиянии



на кинетику топочных процессов (рис. 1, б). На рис. 1, в представлена упрощенная 3D-модель топочной камеры котла со сгенерированной неструктурированной гексаэдральной сеткой.

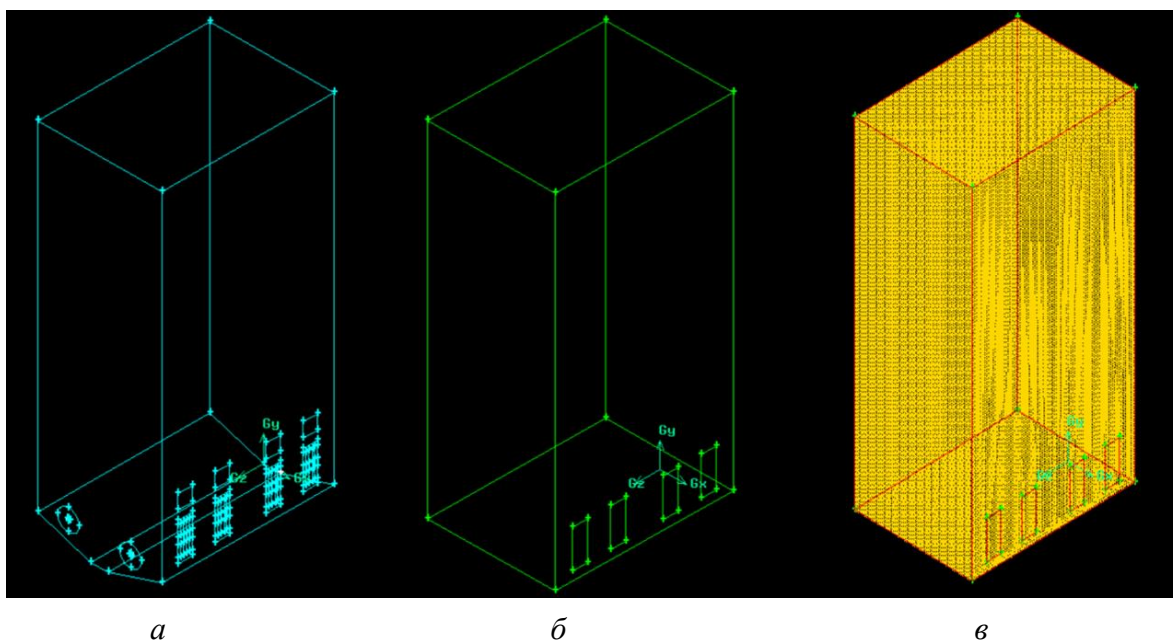


Рис. 1. 3D-модели топочной камеры котла ТП-14А в программе Gambit:  
а – геометрически точная модель; б – геометрия упрощенной модели;  
в – упрощенная модель топочной камеры парового котла ТП-14А  
со сгенерированной расчетной сеткой

Полученная модель переносится в процессор Ansys Fluent, в котором проводится адаптация сетки, задаются начальные и граничные условия, рассчитываются газовые потоки в условиях турбулентности, теплообмена и прохождения химических реакций. При решении задачи используется модель излучения P1. Поскольку в топке предусматривается горение как газовой, так и твердой диспергированной среды (угольная пыль, частицы органики коммунальных отходов, зола), принята Composition PDF Transport – композиционная транспортная модель на основе функции плотности вероятностей, Probability density function (PDF). Ее удобно использовать для моделирования кинетики химических реакций с конечной скоростью в турбулентных пламенах, хотя она и требует повышенных вычислительных затрат.

За эталонные опытные данные по топочным процессам в энергетических котлах приняты результаты исследования парогенератора Кумертауской ТЭЦ [6]. Верификация и валидация по полученным в нем данным показали физическую адекватность модели, созданной в нашей работе. В качестве примера на рис. 2, а представлены данные

о распределении статического давления в топке котла ТП-14А при установленных в качестве исходных параметров атмосферного давления в топке и условиях отсутствия избыточного давления на выходе из нее (Pressure Outlet со значением Gauge Pressure = 0 Па). Можно видеть, что в результате расчетов числовые значения давления в топке близки к атмосферному, и обратных токов не наблюдается. Также на рис. 2, б и в представлены результаты численных расчетов по выходу летучих горючих и догоранию их до  $\text{CO}_2$  в различных зонах топки котла при подаче пылеугольного потока в 4 основные горелки и газификации угольной пыли. Результаты численных расчетов по выходу летучих горючих и догоранию их до  $\text{CO}_2$  показали, что максимальный выход летучих и их полное догорание до  $\text{CO}_2$  происходят над уровнем расположения горелок, что можно считать физически адекватным.

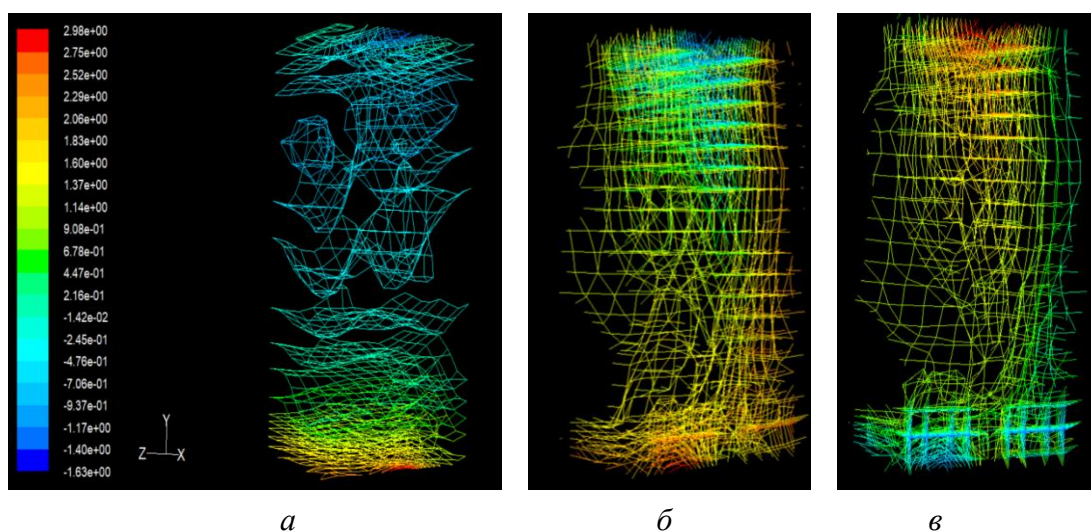


Рис. 2. Распределение статического давления и содержания летучих горючих и  $\text{CO}_2$  в топке котла ТП-14А: а – расчетные данные по распределению статического давления в топке котла; б – результаты расчетов по выходу летучих горючих; в – результаты расчетов по догоранию летучих горючих до  $\text{CO}_2$

Анализ путей загрязнения воздуха селитебной зоны показывает, что негативная роль обращения бытового мусора преувеличивается. В связи с продолжающейся децентрализацией теплоснабжения жилого фонда вклады большой энергетики и децентрализованных источников в ухудшение состояния атмосферы сближаются, а в совокупности они не превосходят воздействия на городскую воздушную среду выбросов, образующихся при обращении бытового мусора, в связи с внушающей их токсичностью. Представленный способ моделирования обеспечивает физическую адекватность численной модели топочного устройства

и может быть использован для исследований процессов термообработки нестандартных видов топлива и коммунальных отходов. Общих способов, дающих адекватные решения по кинетике реакций в процессах термообработки отходов на сегодня нет, а рассмотрение более 3-4 исходных веществ требует больших затрат вычислительных ресурсов. Поэтому применимым на практике подходом к исследованиям по снижению вредных выбросов является ограничение количества исходных соединений, промежуточных и конечных продуктов по числу компонентов.

### **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. Emission characteristics of PCDD/Fs in stack gas from municipal solid waste incineration plants in Northern China / Z. Feng [et al.] // Chemosphere. 2018. Vol. 200. Pp. 23–29.

3. PCDD/F levels and phase distributions in a full-scale municipal solid waste incinerator with co-incinerating sewage sludge / Z. Rigang [et al.] // Waste Management. 2020. Vol. 106. Pp. 110–119.

4. Опыт освоения современных котельных установок российского производства / А.Н. Тугов [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. Т. 20, № 7-8. С. 87–98.

5. Inhibition of element sulfur and calcium oxide on the formation of PCDD/Fs during co-combustion experiment of municipal solid waste / Ma Hongting [et al.] // Science of the Total Environment. 2018. Vol. 633. Pp. 1263–1271.

6. Тугов А.Н. Энергетическая утилизация твердых коммунальных отходов на ТЭС: моногр. М.: ОАО «ВТИ», 2017. 177 с.

УДК 697.343

## **РЕАГЕНТНАЯ ОБРАБОТКА СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

У.В. Иванова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ivanovauliana7@gmail.com

Науч. рук. С.М. Власов

Описаны негативные последствия наличия отложений на теплообменном оборудовании, способы его очистки: химическая, механическая, гидродинамическая, пневмогидроимпульсная. Рассмотрены составы реагентов химической промывки.

**Ключевые слова:** теплообменное оборудование, теплоснабжение, отложения, методы очистки, кислотные реагенты, щелочные реагенты.

Основными характеристиками, показывающие эффективную работу системы теплоснабжения не только жилых, но и производственных зданий являются: качества теплоносителя, величины рабочего давления, а также от своевременного проведения технического обслуживания [1].

Для надежной эксплуатации систем теплоснабжения необходимы регулярные профилактические работы, так как из-за некачественных водоподготовительных мероприятий велик риск образования органических и неорганических продуктов и окислов металлов, что может привести к следующим негативным последствиям: снижению тепловой производительности; увеличению температурных напоров в подогревателях сетевой воды; увеличению гидравлического сопротивления в трубках; потере топлива и мощности теплообменного оборудования.

Согласно СНиП 3.05.01 системы отопления, теплоснабжения, внутреннего холодного и горячего водоснабжения, трубопроводы котельных по окончании их монтажа должны быть промыты водой до выхода ее без механических взвесей [2].

Для проведения очистки теплообменного оборудования, например, трубопроводов, арматуры и устройств системы теплоснабжения, главной целью которой является устранение накипи, образовавшейся в процессе эксплуатации на внутренних стенках используют промывку систем теплоснабжения различными способами [3].

Как правило, промывка отопления требуется любой системе отопления, отработавшей без промывки более 5 лет. Чаще всего основным загрязнением подвергаются горизонтальные части труб и теплообменные поверхности.

На сегодняшний день в системах теплоснабжения зданий применяют различные методы очистки от отложений и заиливания: химическая, механическая, гидродинамическая, пневмогидроимпульсная.

Механическая очистка проводится путем промывки элементов оборудования сильным напором воды под высоким давлением, что является самым оптимальным методом очистки сложных загрязнений. При применении этого метода используют дополнительное оборудование в виде специальных насосов, задача которых создать повышенное давление в системе, тем самым добиваясь принудительного движения специального химического раствора.

Гидродинамический метод промывки заключается в удалении отложений путем очистки системы отопления тонкими струями воды, подаваемыми в трубы через специальные насадки под высоким давлением.

В процессе очистки убираются любые виды накипи и отложений, при этом оборудование не подвергается повреждениям. Однако, для осуществления этого метода необходимо использование дорогостоящего оборудования, используемого только ответственными специалистами, обладающими высокой квалификацией [3].

Процесс промывки труб с использованием многократных импульсов при помощи специализированного оборудования называется пневмогидро-импульсная промывка. Принцип работы данного технологического процесса является созданием кинетической импульсной волны в воде, заполняющей систему отопления, кавитационные пузырьки из газопаровой смеси, которые образуются вследствие прохождения через жидкость акустической волны высокой интенсивности.

При движении с током воды в область с повышенным давлением кавитационный пузырек «захлопывается», излучая при этом ударную волну. Завихрения воды с воздухом отрывают отложения от стенок труб, а последующая волна воздушно-водяной смеси уносит накипь, которая поднялась со дна.

Химическая очистка имеет значительные преимущества по сравнению с описанными выше методами, например, она позволяет достичь более полного удаления отложений, а также позволяет достаточно быстро и легко растворить большую часть отложений и накипи и вывести их из труб отопления без демонтажа системы.

Отложения представляют собой многокомпонентные твердые наслоения, состоящие из окислов железа, карбонатов, фосфатов, сульфатов, окиси кальция, окиси магния.

Данные наслоения создают большое термическое сопротивление тепловому потоку, что ведет к снижению температуры теплоносителя и уменьшению теплопроводности системы отопления.

Методы химической очистки основаны на полном либо частичном превращении нерастворимых отложений в соли или комплексы, хорошо растворимые в воде.

Средства для очистки контура обычно имеют в основе кислоты – лимонную, ортофосфорную, соляную, уксусную, лимонную. Также выпускают моющие средства на основе щелочей.

Для растворения отложений широко используются ингибированные растворы соляной кислоты. Помимо соляной кислоты, которая малоэффективна для растворения отложений с высоким содержанием окислов железа, силикатов и фосфатов, в качестве растворителя используются серная, азотная, фосфорная, сульфаминовая кислоты

и композиции на их основе. Для удаления высокотемпературных отложений, содержащих значительные концентрации оксидов железа, меди и кремния, использованы, помимо соляной кислоты, метилиминодиметилфосфоновая и нитрилтри(метиленфосфоновая) кислоты. Применение органических кислот помимо эффективного растворения отложений решает еще и проблему утилизации отходов при отмывке.

Помимо кислот и щелочей, в состав входят ПАВ (поверхностно-активные вещества), которые смывают скопившуюся внутри контура грязь и мешают ее повторному оседанию на стенки трубы. В промывки включают также компоненты, предотвращающие коррозию металла.

Некоторые производители добавляют цветные индикаторы, указывающие на химическую активность продукта. Если цвет меняется в самом начале промывки, то это означает, что концентрация слишком мала, и нужно ее повысить.

Реагенты по промывке системы теплоснабжения делят на три вида по препаратной форме:

а) порошки: Manta Ecologica EC-MIX (Италия), Cillit-Kalkloser P (Германия), SteelTEX ZINC (Германия);

б) концентраты: CleanMaster TermoTactic PCM-10 (Россия), Cillit-HS 23-Combi (Германия), теплый Дом 65 (Россия);

в) готовые к применению составы: Syntilor «Watesup» (Россия), Pipal HeatGUARDEX Cleaner 808R (Италия), Alpacon Degreaser (Италия) [4].

На российском рынке представлено большое разнообразие промывочных веществ на основе кислот и щелочей. Главное – это верно подобрать необходимый тип, чтобы он смог без негативных последствий контактировать с материалом обрабатываемого теплообменного оборудования.

Работа выполнена при финансовой государственной поддержке молодых российских ученых – докторов наук при Президенте Российской Федерации (конкурс МК 2020 г.). Соглашение № 075-15-2020-170 от 17.02.2020.

### **Источники**

1. Комплексная реагентная обработка воды системы технического водоснабжения с градирнями на ТЭС / А.А. Чичиров [и др.] // Труды Академэнерго. 2012. № 1. С. 90–100.

2. СНиП 3.05.01-85. Внутренние санитарно-технические системы [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-Плюс» (дата обращения: 21.03.2021).

3. Мифтахова Д.Р. Дисперсный метод промывки системы отопления // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 8 (47). С. 7–16.

4. Рейтинг лучших средств и жидкостей для промывки систем отопления на 2021 год [Электронный ресурс]. URL: <https://vyborok.com/rejting-luchshih-sredstv-i-zhidkostej-dlya-promyvki-sistem-otopleniya/#i-11> (дата обращения: 21.03.2021).

УДК 628.16

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОДЫ СОВЕТСКОГО И МОСКОВСКОГО РАЙОНОВ г. КАЗАНИ

К.А. Игнатъев<sup>1</sup>, А.М. Соколов<sup>2</sup>

1ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>eretekosyk@mail.ru, <sup>2</sup>hai\_ksta@bk.ru

Науч. рук. А.Ю. Власова

Представлены результаты сравнительного химического анализа воды из скважин Советского, Высокогорского районов и водопроводной воды Московского района г. Казани по показателям качества, включающим общее солесодержание (ОСС), содержание железа (III), рН, общей жёсткости, щёлочности, содержание компонентов азота, удельную электропроводимость (УЭП), перманганатную окисляемость, содержание сульфатов, хлоридов.

**Ключевые слова:** водопроводная вода, скважина, общая жёсткость, показатели вод, титриметрический метод, турбидиметрический метод.

Важную роль в жизни человека отводится воде, употребляя которую человек может получить до 25 % суточной потребности минеральных веществ. В соответствии с нормативами на питьевую воду СанПиН 2.1.4.1074 [1] питьевая вода должна быть безопасна, безвредна и иметь благоприятные свойства. Целью данной работы явилось исследование состава питьевой воды из разных точек г. Казани.

Объекты и методики исследования

Объектами исследования в данной работе являлись:

- вода подземных источников: скважина из частного сектора в Московском районе и скважина из Советского района;
- водопроводная вода из Советского района.

Водородный показатель (рН), общее солесодержание (ОСС), удельную электропроводимость измеряли с помощью портативного водонепроницаемого кондуктометра HI 991301 с выносным (сменным) электродом. Жесткость общую, перманганатную окисляемость, содержание хлоридов, щёлочность определяли титриметрическим методом. Содержание железа (III), содержание сульфатов и азотосодержащие компоненты определяли турбидиметрическим методом. Результаты исследований приведены в таблице. Метод основан на измерении интенсивности света определенной длины волны, прошедшего через кювету, находящуюся в спектрофотометре, содержащую коллоидный раствор [2].

#### Показатели качества воды

Источник	Концентрация, мг/л				рН, ед.	ОСС, г/л	УЭП, мСименс/м
	Fe <sup>3+</sup> , мг/л	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	Азотосодержащие компоненты (суммарно), мг/л	Окисляемость перманганатная, мГО/л			
СанПиН [1]	0,3	500	85, 623	5,0	6-9	1	0,5
р. Высокогорский	0,264	17,099	0,374	0,0104	6,6	0,3	0,62
р. Советский	0,226	68,288	0,332	0,01	6,88	0,32	0,63
Водопроводная вода	0,410	69,126	0,512	0,017	6,19	0,23	0,47
Источник	Жёсткость общая, мг-экв/л		Щёлочность, мг-экв/л		Содержание хлоридов, мг/л		
СанПиН [1]	7		не норм.		350		
р. Высокогорский	6,75		2,5		0,65		
р. Советский	7,125		4,5		0,575		
Водопроводная вода	4,175		4		1,15		

Из табл. 1 видно, что в водопроводной воде содержится большое количество Fe<sup>3+</sup>. Такое превышение возможно либо при наличии в воде железо восстанавливающих бактерий, либо при интенсивной коррозии трубопроводов и как результат наличие продуктов коррозии в воде. Остальные измеряемые показатели не превышают ПДК, что свидетельствует по результатам эксперимента. По сравнению с другими пробами водопроводная вода отличается по содержанию хлоридов, азотосодержащих компонентов, перманганатной окисляемостью и содер-



жанию сульфатов, но при этом они не превышают норму. Содержание хлоридов и азотосодержащих компонентов в водопроводной воде больше, чем в пробах из скважин. Данное различие так же может быть связано с устаревшими водопроводными сетями, не подвергавшиеся длительной замене.

Вода из скважин в Советском и Высокогорском районах почти отвечает всем показателям и соответствует нормам, но всё же имеют отклонения. Так, вода из Советского района имеет превышения по общей жёсткости и удельной электропроводимости. Высокая жесткость может быть связана с тем, что это природная вода, т.е. вода проходит через грунт, тем самым обогащаясь минералами, по той же причине и высокая удельная электропроводимость. В пробе из Высокогорского района превышения по удельной электропроводимости по той же причине что вода из подземного источника [3].

На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что пробы, взятые из водопровода и скважин, могут быть рекомендованы к употреблению, но возможно потребуют дополнительной очистки с помощью бытовых фильтров для воды чтобы исключить повышенные отложения на нагревательных элементах бытовых приборов, для увеличения срока их эксплуатации.

### **Источники**

1. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 23.03.2021).

2. Химический состав водопроводной воды и некоторых природных источников г. Ижевска (февраль-март 2013 г.) / М.М. Канунников [и др.] // Вестник Удмуртского университета. Сер. «Физика и химия». 2013. № 3. С. 65–69.

3. Новиков А.С. Сравнительный анализ водопроводной и грунтовой воды в СНТ «Клин» Клинского района Московской области // Матер. науч.-практ. конф. молодых ученых географов. 2019. С. 172–175.

4. Иванютин Н.М., Подовалова С.В. Физиологическая полноценность питьевых вод Крыма по химическому составу // Системы контроля окружающей среды. 2018. № 13 (33). С. 140–146.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДПИТКИ И БОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА АЭС С ВОДО-ВОДЯНЫМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ РЕАКТОРОМ ВВЭР-1000

М.Э. Крылов<sup>1</sup>, А.Ш. Низамова<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

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

Рассмотрено регулирование борной кислотой на атомных электрических станциях, путем работы деаэратора подпитки-продувки, который нужен для заполнения или добавления воды для 1-го контура.

**Ключевые слова:** атомная электрическая станция, деаэратор подпитки-продувки, борная кислота.

Основная функция деаэратора подпитки-продувки (ДП) является удаление коррозионно-активных газов из дистиллята, идущего от насосов «чистого» конденсата, перед подводом его в 1-й контур. Ещё он позволяет выделить радиоактивные благородные газы, попадающие в контур воды из реактора (его тепловыделяющих элементов), через неплотности [1].

ДП работает в режиме постоянной циркуляции для поддержания запаса «чистого» конденсата. После чего он сбрасывает дистиллят через теплообменник и, при необходимости, через охладитель обратно в баки хранения [2].

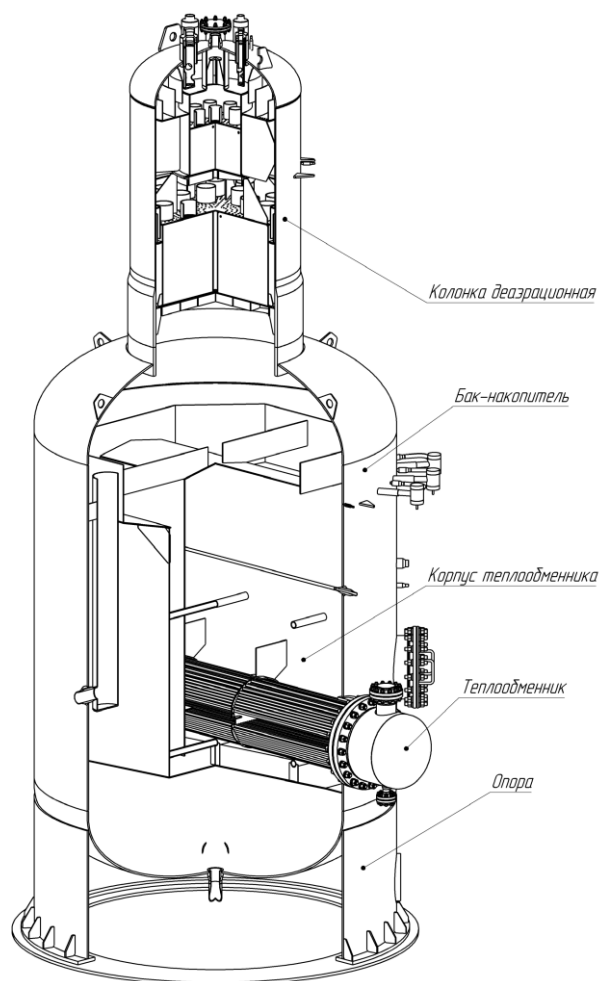
ДП делает возможным деаэрацию в следующих режимах:

- номинальном;
- борного регулирования при вводе и выводе бора;
- аварийном, при вводе бора.

Деаэратор (см. рисунок) состоит из двух неравных цилиндров. Верхний – это дегазационная колонка, которая служит для дегазации дистиллята. Нижний – это бак-аккумулятор, выполненный в форме вертикального цилиндра с овальным дном. Его назначение скрыто в самом названии – аккумуляирование дистиллированной воды, прошедшей через колонну [3]. Технические характеристики деаэратора подпитки-продувки и борного регулирования:

- номинальная производительность – 70 т/ч;
- температура деаэрируемой воды – 104 град.;
- расход пара при номинальной производительности – 150 кг/ч;

- производительность в аварийном режиме с частичной деаэрацией – 100 т/ч;
- расчетное давление – 0,5 МПа (5 ата);
- объем корпуса геометрический – 31 м<sup>3</sup>;
- объем корпуса рабочий – 19 м<sup>3</sup>;
- поверхность теплообмена нагревателя – 63,5 м<sup>2</sup>;
- количество теплообменных труб  $\varnothing 18 \times 2,5$  – 179 шт.



Деаэратор подпитки-продувки и борного регулирования

Как уже было сказано выше, система подпитки-продувки применяется для медленной продолжительности изменения поведения цепной реакции деления ядер в активной зоне за счет изменения количества борной кислоты в нем. При такой подаче бора в 1-й контур, с концентрацией 40 г/кг, кислота вводится на подпиточные насосы от насосов подачи борного концентрата с расходом до 60 м<sup>3</sup>/ч. Местный теплоноситель, выходящий из контура, выводится в баки боросодержащей воды.

## Источники

1. Маргулова Т.Х. Атомные электрические станции: учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1978. 360 с.
2. Антонова А.М., Воробьев А.В. Атомные электростанции: учеб. пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2009. 276 с.
3. РОСЭНЕРГОАТОМ [Электронный ресурс]: сайт. URL: <http://www.rosenergoatom.ru/> (дата обращения: 21.02.2021).

УДК 621.039

### **ВЫЯВЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ВЫГОДНЫХ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ НА АЭС, РАБОТАЮЩИХ НА ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНАХ**

Е.С. Майоров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

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

Науч. рук.: А.И. Минибаев, Б.А. Гильфанов

Представлены результаты сравнения различных радиоактивных изотопов, способных делиться под воздействием медленных нейтронов. Были представлены характеристики каждого из изотопов, на основе которых был сделан вывод о экономической выгоде того или иного радиоактивного изотопа.

**Ключевые слова:** ТЭС, АЭС, электроэнергия, ядерное топливо, радиоактивный распад

Без чего не может обойтись современный человек в повседневной жизни? После потребности в воде и еде идет потребность в тепле и свете. За долгие годы люди изобрели множество способов в их получении, у каждого из которых были свои плюсы и минусы. На сегодняшний день получение электроэнергии является одной из важнейших проблем.

Электроэнергия – физический термин, широко распространённый в технике и в быту для определения количества электрической энергии, выдаваемой генератором в электрическую сеть или получаемой из сети потребителем. Основной единицей измерения выработки и потребления электрической энергии служит киловатт-час [1].

Основными источниками электроэнергии являются тепловые электрические станции, но наряду с ними стоит выделить атомные электрические станции. АЭС в сравнении с ТЭС имеют следующие достоинства:

1) экологичность: действующие АЭС России ежегодно предотвращают выброс в атмосферу около 210 млн тонн углекислого газа [2];

2) энергоёмкость: 1 кг урана с обогащением до 4 % (уран-235), используемого в качестве ядерного топлива, при полном выгорании выделяет энергию, эквивалентную сжиганию примерно 100 т высококачественного каменного угля или 60 т нефти [2];

3) повторное использование сырья: делящийся материал (уран-235) выгорает в ядерном топливе не полностью и может быть использован повторно после регенерации (в отличие от золы и шлаков органического топлива). В перспективе возможен полный переход на замкнутый топливный цикл, что означает практически полное отсутствие отходов [2].

За счет чего же АЭС занимает одно из лидирующих позиций в списке самых перспективных отраслей энергетики?

В отличие от ТЭС, АЭС работает на выделении энергии из ядерного топлива.

Ядерное топливо – это материал, в котором содержатся какие – либо ядра, способные делиться при взаимодействии с нейтронами различных энергий – медленными (тепловыми, надтепловыми, резонансными), промежуточными, быстрыми [3].

Основным ядерным топливом является уран-235, процент содержания которого в природном уране составляет около 0,7115 %.

Средняя энергия, выделяющаяся при распаде одного ядра урана-235 с учётом распада осколков, составляет приблизительно 202,5 МэВ. Таким образом, после выгорания 1 кг урана-235 с обогащением в 4 % получают энергию в 620 тыс. кВт-ч.

Другим изотопом, способным делиться под воздействием тепловых нейтронов является изотоп плутония-239, получаемый посредством облучения урана-238 быстрыми нейтронами.

Средняя энергия, выделяемая при делении плутония-239, равна приблизительно 200 МэВ. Отделение плутония от урана, проводимое химическими методами, представляет относительно более простую задачу, чем разделение изотопов урана-235 и урана-238. Вследствие этого стоимость плутония вдвое ниже стоимости урана-235 [4].

Плутоний-241 – изотоп, получаемый после поглощения нейтронов атомом плутония-239 (без деления). Средняя энергия, выделяемая при делении атома плутония-241, примерно равна 200 МэВ [5].

Ториевый цикл в перспективе может стать основным для получения ядерного топлива для АЭС. Цикл представляет собой облучение природного тория-232 (залежи которого в несколько раз превышают залежи урана) тепловыми нейтронами с последующим синтезом урана-233, который способен делиться под действием медленных нейтронов наряду с ураном-235 и плутонием-239. Деление одного атома урана-233 дает 197,9 МэВ [6].

В связи с тем, что выделяющаяся энергия при делении изотопов под воздействием тепловых нейтронов примерно равна, экономическая выгода будет зависеть от распространённости элемента в природе и простоты его обработки. Наиболее выгодным топливом для АЭС на тепловых нейтронах будет изотоп урана-233, так как его получают из тория-232, распространённость которого на Земле в 3-4 раза превышает распространённость урана [7]. Недостатком тория-232 можно считать его выделение из гранитных плит.

### Источники

1. Электроэнергия [Электронный ресурс]. URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/energoresursy-toplivo/669193-elektroenergiya/> (дата обращения: 18.02.2021).
2. Преимущества атомной энергетики [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosatom.ru/about-nuclear-industry/preimushchestva-atomnoy-energetiki/> (дата обращения: 18.02.2021).
3. Шагиев Н.Г., Галимова Г.Г., Зарипов А.Н. Ядерно-топливные циклы и технико-экономические показатели АЭС: учеб. пособие. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2013. 48 с
4. Бекман И.Н. Изотопы плутония [Электронный ресурс]. URL: <http://profbeckman.narod.ru/Pluton.files/Glava2.pdf> (дата обращения: 18.02.2021).
5. Касьянов В.А. Физика 11 класс. М.: Дрофа, 2011. 467 с.
6. Raymod L. Murray Nuclear energy an introduction to the concepts, systems, and applications of nuclear processes. Elsevier Inc., 519 p.
7. Маргулова Т.Х. Атомная энергетика и её будущее. М.: Энергия, 1997. 112 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОМЫВОК ОБРАТНООСМОТИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ВОЛГОГРАДСКОЙ ТЭЦ

А.А. Мишакова

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

nasya.mishakova@bk.ru

Науч. рук М.В. Одоевцева

Приведены результаты исследований моющих растворов для химической очистки мембранных модулей установки обратного осмоса Волгоградской ТЭЦ. Подобраны растворы и режим очистки мембран 1 и 2 стадии действующей водоподготовительной установки.

**Ключевые слова:** обратный осмос, химическая очистка, мембраны, реагенты.

Подготовка воды на тепловых электрических станциях (ТЭС) является важной задачей. Традиционно эта задача решается химическими и термическими методами обессоливания. В последнее десятилетие наблюдается рост популярности современных баромембранных (БМ) технологий подготовки воды [1]. Сегодня на отечественных электростанциях и в котельных работают десятки баромембранных водоподготовительных установок (ВПУ).

Растущий интерес к использованию установок обратного осмоса, микро- и ультрафильтрации вызван тем, что благодаря своей компактности они удачно комплектуются в состав современных блоков ПГУ, ТЭС или модульных котельных. Правильное применение данных технологий позволяет снизить расход реагентов и уменьшить концентрации экологически вредных компонентов в сбросной воде, что является немаловажным в условиях повышения тарифов на сброс засоленных стоков и ужесточения требований к охране окружающей среды [2].

Вместе с этим для мембранных водоподготовительных установок характерны серьёзные недостатки: большой объем сточных вод; проблемы реагентного обеспечения; необходимость глубокой предварительной очистки исходной воды; небольшой срок службы мембран; чувствительность мембран к сезонным изменениям качества воды [3, 4].

Осадкообразование на поверхности мембран снижает производительность установки [5]. При неправильном выборе реагентов, их дозировании, выбранном интервале между операциями по регенерации мембран, эффективность их применения падает. Изменение характеристик мембран могут быть необратимыми. В тоже время при правильном подборе методов очистки мембран от загрязнений, можно восстановить производительность обратноосмотической установки, увеличить срок их эксплуатации. Если промывка была выполнена качественно, удельная производительность и селективность мембран восстанавливаются практически до первоначальной величины. Поэтому исследования с целью правильного подбора типа реагентов, их концентрации и режима очистки мембранных элементов являются актуальными для современных ПГУ, ТЭС и котельных [6].

С целью сокращения расхода реагентов в схемах ВПУ заменяют Н-ОН-ионитные фильтры первой ступени на установку обратного осмоса (см. рисунок).

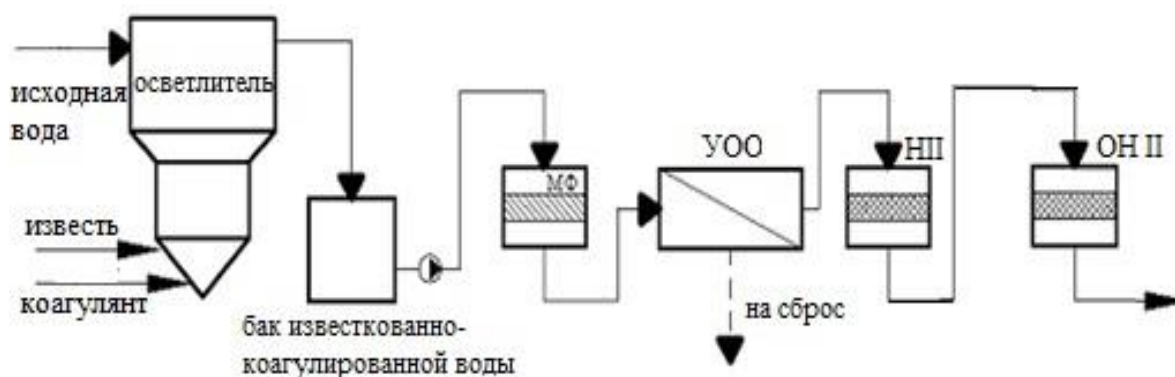


Схема внедрения мембранных технологий в «традиционную» схему ВПУ

Однако использование предочистки в виде осветлителя с известкованием и коагуляцией не дает возможности использования всех преимуществ обратного осмоса из-за высоких значений удельной электропроводности осветленной воды и коллоидного индекса (SDI), более 4–5. Аналогичная схема внедрена на Волгоградской ТЭЦ. Установка обратного осмоса состоит из двух стадий. С учетом недостатка технического решения, в процессе эксплуатации обратноосмотические (ОО) мембранные элементы водоподготовительной установки Волгоградской ТЭЦ подвергаются загрязнению взвешенными или слаборастворимыми веществами, присутствующими в исходной воде [2]. Выбор оптимального режима



химической очистки производственной установки обратного осмоса позволит снизить скорость формирования отложений, увеличить срок эксплуатации мембранных элементов водоподготовительной установки при стабильно высоком качестве обессоленной воды.

Состав и интенсивность загрязнений на разных стадиях отличаются, поэтому подбор реагентов осуществлялся отдельно для мембран первой и второй стадии.

Для химической очистки мембран использовались следующие растворы:

1) фирмы «НПК Медиана-Фильтр», а именно: MF-A-T10, MF-B-L20, MF CRO 220, MF CRO 218;

2) фирмы ООО «ИНЭКО»: IN-ECO 541, IN ECO 535, IN ECO 515;

3) растворы лимонной кислоты и едкого натра, применяемые на Волгоградской ТЭЦ.

Химическая очистка мембран осуществлялась с применением лабораторной магнитной мешалки, зажима для мембран и термостойкого стакана, в который помещался соответствующий раствор и образцы мембран.

Эффективность очистки мембран определялась по разности веса образцов до и после химической очистки.

Для испытаний образцы мембран вырезались размером  $10 \times 7$  см<sup>2</sup>. Вес мембран определялся на аналитических весах.

Химическая очистка мембран осуществлялась при температуре 35–38 °С в следующей последовательности:

1) щелочной раствор – 6 ч;

2) промывка дистиллированной водой;

3) кислотный раствор – 6 ч;

4) промывка дистиллированной водой.

Образцы после химической очистки высушивались до постоянного веса.

Для образцов №№ 1, 2, 4, 5, 7 и 8 в отмывке мембран использовался раствор биоцида фирмы ООО «ИНЭКО». Он применялся после обработки мембран щелочным раствором. Время обработки мембран в биоциде при температуре 35–38 °С составило 6 ч.

Результаты исследований показали, что отложения с мембран первой и второй стадии отмываются с разной степенью интенсивности. Наибольшая масса отмытых отложений наблюдается у образца № 2. Раст-

воры ООО «ИНЭКО» оказались эффективнее растворов, которые используются на Волгоградской ТЭЦ (NaOH и раствор лимонной кислоты) в 2,5 раза. Растворы «НПК Медиана-Фильтр» – эффективнее в 1,7 раз.

Из исследований образцов второй стадии видно, что химическая отмывка дает дополнительный результат при поддержании температуры 35–38 °С, нежели чем при комнатной температуре.

Растворы ООО «ИНЭКО» эффективнее, чем «НПК Медиана-Фильтр» в 1,5 раза (см. таблицу).

#### Результаты отмывки мембран установки обратного осмоса Волгоградской ТЭЦ

Образец	Моющий раствор	Серия моющего раствора	Масса отмытых отложений в расчете на 1 г/м <sup>2</sup>	pH моющих растворов до/после отмывки	Скорость отмывки загрязнений от образцов, г/(м <sup>2</sup> ·ч)
1-я стадия					
1	«НПК Медиана-Фильтр»; ООО «ИНЭКО»	MF-A-T10 MF-B-L20 IN ECO 515	4,48	11,95/11,45 1,95/3,4 3,1/3,1	56,31
2	ООО «ИНЭКО»	IN-ECO 541 IN ECO 535 IN ECO 515	6,57	11,5/11,5 1,8/2,9 3,3/3,2	86,84
3	Растворы лимонной к-ты и едкого натра	NaOH 0,1 % Раствор лимонной к-ты 2 %	2,66	11,4/11,55 3,05/3,6	31,87
4	Растворы лимонной к-ты и едкого натра; ООО «ИНЭКО»	NaOH 0,1 % Раствор лимонной к-ты 2 % IN ECO 515	3,18	12,2/10,85 2,25/3,4 3,05/3,05	37,67
2-я стадия					
1	«НПК Медиана-Фильтр»	MF CRO 220 MF CRO 218	3,08	12,36/12,29 1,43/1,39	39,49
2	ООО «ИНЭКО»	IN-ECO 541 IN ECO 535	2,99	12,36/12,25 1,39/1,38	37,19
3	ООО «ИНЭКО»	IN-ECO 541 IN ECO 535 IN ECO 515	4,49	12,2/11,7 2,2/1,95 3,15/2,65	51,97
4	«НПК Медиана-Фильтр» ООО «ИНЭКО»	MF-A-T10 MF-B-L20 IN ECO 515	3,01	11,75/11,85 2,1/2,3 2,85/3,6	37,44

Примечание. \*образцы № 5 и 6 отмывались при температуре 25 °С.

Из таблицы видно, что при использовании лимонной кислоты и едкого натра для химической отмывки образца № 4 значительно меняется величина рН, что требует в процессе отмывки дополнительного введения реагентов для корректировки величины рН.

Для мембран первой стадии наилучший результат дали растворы фирмы ООО «ИНЭКО». Использование биоцида IN ECO 515 дополнительно к растворам кислоты и щелочи во второй стадии дает улучшение результата отмывки.

Выводы: для Волгоградской ТЭЦ целесообразно использовать растворы фирм ООО «ИНЭКО» и «НПК Медиана-Фильтр». Химическая отмывка загрязнений с образцов данными реагентами не требует корректировки величины рН моющих растворов в процессе их эксплуатации. Применение этих растворов снизит: расходы реагентов для химической очистки мембран, скорость формирования отложений и увеличит срок эксплуатации мембранных элементов водоподготовительной установки.

### Источники

1. Влияние биологического загрязнения на работу обратноосмотических и ультрафильтрационных мембранных элементов / А.Г. Первов [и др.] // Мембраны. 2004. № 1. С. 3–18.

2. Технологии мембранного разделения в промышленной водоподготовке: моногр. / А.А. Пантелеев [и др.]. М.: ДеЛи плюс, 2012. 429 с.

3. Использование современных интегрированных мембранных технологий для улучшения качества питательной воды на предприятиях энергетики / С.Л. Громов [и др.] // Водоочистка, Водоподготовка, Водоснабжение. 2008. № 2. С. 20–29.

4. Громов С.Л., Пантелеев А.А., Сидоров А.Р. Опыт применения интегрированных мембранных технологий // Мембранные технологии в водоподготовке и очистке сточных вод: матер. конф. М., 2008.

5. Федоренко В.И. Ингибирование осадкообразования в установках обратного осмоса // Критические технологии. Мембраны. 2003. № 2 (18). С. 23–30.

6. Бойко Н.И., Одарюк В.А., Сафонов А.В. Применение мембранных технологий в очистке // Технологии гражданской безопасности. 2014. С. 67–69.

## ВОЗМОЖНОСТЬ МОДЕРНИЗАЦИИ ГРЭС МОЩНОСТЬЮ 2 000 МВт

А.Р. Мухаметзянова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
adelina.salikhova@bk.ru  
Науч. рук. А.Ш. Низамова

Предлагается возможность модернизации ГРЭС мощностью 2 000 МВт. При долгой эксплуатации станций их оборудование морально и физически устаревают. Модернизация предполагается путем внедрения парогазовой установки с котлом-утилизатором, и с более мощной газовой и паровой турбиной. Описываются их преимущества, даны примеры действующих станций с подобной установкой, рассмотрены производители газовых и паровых турбин.

**Ключевые слова:** ГРЭС, оборудование, единичная мощность, парогазовая установка, котел-утилизатор, газовая турбина, паровая турбина, электрическая энергия, коэффициент полезного действия.

В настоящее время станции Российской Федерации морально и физически устаревают, в результате увеличения количества изношенного оборудования – более 80 %, поэтому требуется их модернизация с вводом новых блоков и постепенным демонтажем старых. Таким образом, все конденсационные станции построенные в 1960–70-е гг., требуют модернизации или реконструкции. Модернизация решает проблему на ближайший период, но решать проблему нужно кардинально, поскольку ресурс работы основного оборудования 40 лет, который уже давно исчерпан. И важнейшей задачей текущего момента развития энергетики нашей страны является надежное, качественное и экологически безопасное энергоснабжение потребителей на основе внедрения новых прогрессивных видов технологий и техники. Поэтому расширение и модернизация большинства ТЭС (КЭС и ТЭЦ) России сегодня производится более современными бинарными установками ГТУ и ПГУ. Они являются перспективным направлением в энергетике из-за высокого КПД по сравнению с паротурбинными установками. Их КПД на данный момент уже достигает 60–62 % и они имеют целый ряд преимуществ.

ПГУ бывает четырех типов:

- с высоконапорным парогенератором;
- с низконапорным парогенератором;
- с вытеснением регенерации;
- утилизационного типа с котлом-утилизатором [1, 2].

Парогазовая установка с котлом-утилизатором является наиболее перспективной и широко распространенной в мире. Такая установка отличается простотой в конструкции и высокой эффективностью производства электрической энергии. Данный тип ПГУ – единственная на сегодняшний день энергетическая установка, которая при работе в конденсационном режиме отпускает потребителям электрическую энергию с КПД 55–60 %.

Котлы-утилизаторы парогазовых установок можно разделить на несколько типов:

- паровые, необходимые для выработки водяного пара, который применяется в паровых турбинах или направляется технологическим потребителям;

- водяные, в которых нагревается сетевая вода, конденсат или питательная вода;

- комбинированные, в которых подогревается вода и генерируется водяной пар [3].

В зависимости от схем парогазовых энергоустановок в котле-утилизаторе производится пар от одного до трех давлений, повышается температура воды и конденсата в газовом подогревателе конденсата и производится технологический пар, который направляется на производство.

Есть примеры мощных ГТУ, например, в 2017 г. на Казанской ТЭЦ-3 введен в строй крупнейший в России и в мире ГТУ мощностью 405,6 МВт, она является единственной установкой в России с такими параметрами. Газовая турбина 9НА.01 производства General Electric изготовлена во Франции, генератор – в США, КУ с дымовой трубой изготовлен в Корее. Во Франции ПГУ-605 МВт и КУ, а также с паровой турбиной внесена в Книгу рекордов Гиннеса, как самый эффективный в мире энергоблок среди других с коэффициентом полезного действия 62,22 %, КПД ГТ – 41,7 %.

Рассмотрев каталог энергетического оборудования «Турбины и дизели». Из всех предложенных ПГУ разных фирм, выбираем наиболее известных зарубежных таких как: General Electric, Ansaldo Energia, Siemens (табл. 1, 2), поскольку отечественный производитель АО «УТЗ» предложил ПГУ-410 МВт (КПД 58 %): газовая турбина – M701F4 (297 МВт), паровая турбина T-113/145-12,4 (145 МВт), уступающая по мощности и КПД [4].

Таблица 1

## Газовые турбины

Производители	Газовая турбина	Мощность, МВт
General Electric	9HA.02	510
Ansaldo Energia	GT36 S5	500
Siemens	SGT5-8000H	400

Таблица 2

## Паровые турбины

Производители	Паровая турбина	Мощность, МВт
General Electric	Выбирается по проекту	300
Ansaldo Energia	Выбирается по проекту	500
Siemens	SST-5000	120...650

Данные производители предлагают свои варианты ПГУ, состоящие из двух газовых турбин и одной паровой турбины. Получаем, что Siemens общей мощностью 1 200 МВт с КПД 60 %, Ansaldo Energia – 1444 МВт с КПД 61 %, General Electric – 1195 МВт с КПД 61,6 %.

Установив мощные ПГУ на модернизируемую станцию, появится возможность остановить сразу несколько существующих блоков с выводом их в ремонт и постепенным демонтажем. Установка ПГУ позволит увеличить КПД станции в 2 раза, увеличить электрическую мощность, вырастет загрузка и выработка электрической энергии, а экономия топлива по сравнению с ПТУ такой же мощности достигнет 10 %, тем самым произойдет повышение эффективности станции.

## Источники

1. Низамова А.Ш. Технология централизованного производства электрической энергии и теплоты: учеб. пособие / под ред. Н.Г. Шагиева. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010. Ч. 2. 130 с.

2. 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.: Издательство МЭИ, 2002. 584 с.

3. URL: <https://knowledge.allbest.ru/physics/> (дата обращения: 07.02.2021).

4. «Турбины и дизели» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.turbine-diesel.ru/rus/catalog> (дата обращения: 07.02.2021).

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СО СМЕСИТЕЛЬНЫМ НАСОСОМ И С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ

Д.О. Савко<sup>1</sup>, Р.Р. Аюпов<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>savko\_\_denis@mail.ru, <sup>2</sup>difut@mail.ru

Науч. рук. Ю.Н. Звонарева

Проведены расчеты двух видов насосов сделан сравнительный анализ и выбран оптимальный вариант системы теплоснабжения для многоквартирного дома в г. Казань.

**Ключевые слова:** класс энергоэффективности, смесительный насос, электрический тепловой насос, энергетическая эффективность.

Последние пару лет в городе Казани осуществляется большая комплексная работа по капитальному ремонту многоквартирных домов. В 2020 году в программу по реновации вошли 278 многоквартирных дома, также в программу включена разработка проектно-сметной документации по 173 домам на 2021 г. [1].

В Казани многие многоквартирные дома имеют серьезные тепловые потери. Данные проблемы были выявлены при проведении комплексных энергетических аудитов многоквартирных домов и связаны с износом тепловой сети, увеличением количества аварий и утечек, устаревшей конструкцией теплопроводов, в следствие чего увеличивается число отказов и снижается коэффициент полезного действия при транспортировке тепловой энергии. На многие объекты были установлены таблички, характеризующие класс энергоэффективности, который оказался значительно ниже, ожидаемых показателей.

Теплоснабжающие организации и управляющие компании регулярно реализовывают мероприятия по снижению тепловых потерь и повышению энергоэффективности обслуживаемых систем теплоснабжения и теплоснабжения.

В работе рассматривается один из вариантов повышения эффективности работы внутренней системы теплоснабжения жилого многоквартирного дома. Объектом исследования принят многоквартирный жилой

дом в Ново-Савиновском районе г. Казань, который имеет класс энергоэффективности  $E$ . Данный класс энергоэффективности говорит о высоких тепловых потерях в системе теплоснабжения, разбалансировки тепловой сети, неравномерном прогреве тепловой сети и системы отопления, не верно подобранном или плохо работающем насосном оборудовании, появлении воздушных пробок в системе отопления.

В связи с этим было принято решение в 1-й части исследования рассчитать коэффициент энергетической эффективности с точки зрения потребления электроэнергии смесительного и теплового насосов, провести сравнительный анализ и выбрать оптимальный вариант.

Данный многоквартирный дом имеет следующие технические характеристики и расчетные параметры [2]:

- 1) площадь здания – 11 594,7 м<sup>2</sup>;
- 2) тепловая нагрузка – 614 064 кВт/мес.;
- 3) общедомовая электрическая нагрузка (освещение, технологические потери, насосное оборудование холодного и горячего водоснабжения) – 5 581 кВт·ч/мес.

Система подключена к центральной сети теплоснабжения по зависимой схеме с установкой элеватора на перемычке между подающим и обратным теплопроводом системы отопления. Температурный график системы отопления – 95/70 °С, а городской тепловой сети 130/70 °С.

Отопительные приборы установлены под окнами на наружной стене здания.

Мощность сетевого насоса в рабочей точке составляет  $N_{\text{потр}} = 0,241$  кВт·ч, а расход теплоносителя, циркулирующего в системе – 14,54 м<sup>3</sup>/ч.

Поскольку отопительные приборы устанавливаются под окнами у наружной стены, дополнительные тепловые потери за радиаторными участками наружных ограждений будут равны [3]:

$$Q_{\text{зар}} = \beta_1 \cdot Q_{\text{с.о}} = 0,02 \cdot 614\,064 = 12\,281 \text{ кВт/мес}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{зар}}$  – дополнительные тепловые потери за радиаторными участками наружных ограждений;  $\beta_1$  – коэффициент, учитывающий тип отопительного прибора и его место расположения;  $Q_{\text{с.о}}$  – расчетная тепловая мощность системы.



Общие дополнительные тепловые потери в системе составят:

$$Q_{\text{доп}} = Q_{\text{тр}} + Q_{\text{зар}} + Q_{\text{изб.оп}} = 6\,972 + 12\,281 + 0 = 19\,253 \text{ кВт/мес.}, \quad (2)$$

где  $Q_{\text{тр}}$  – суммарная теплоотдача всех трубопроводов;  $Q_{\text{изб.оп}}$  – избыточные затраты теплоты.

Необходимые затраты электроэнергии с использованием смешительного насоса определяются по формуле:

$$N_{\text{необх}} = 1,1 \cdot G_{\text{с.о}} \cdot u \cdot (\Delta P_{\text{необх}} + 3 \cdot \rho \cdot g) \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

где  $G_{\text{с.о}} = 1,54 \text{ м}^3/\text{с}$  – расход теплоносителя;  $u = 0,714$  – коэффициент смешения;  $27\,051 \text{ Па}$  – необходимая потеря давления;  $\rho$  – плотность воды,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;  $g$  – ускорение свободного падения  $\text{м}/\text{с}^2$  [3]:

$$N_{\text{необх}} = 1,1 \cdot 1,54 \cdot 0,714 \cdot (27\,051 + 3 \cdot 977,8 \cdot 9,81) \cdot 10^{-3} = 0,068 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Таким образом, коэффициент энергетической эффективности с точки зрения потребления электроэнергии равен:

$$\eta_{\text{эл}} = 100 \cdot \frac{N_{\text{необх}}}{N_{\text{потр}}} = 100 \cdot \frac{0,068}{0,241} = 28,2 \%, \quad (4)$$

где  $N_{\text{необх}}$  – необходимые затраты электроэнергии,  $\text{кВт} \cdot \text{ч}$ ;  $N_{\text{потр}}$  – мощность сетевого насоса,  $\text{кВт} \cdot \text{ч}$ .

Данный коэффициент, который равен 28,2 %, относится к классу энергетической эффективности  $E$ .

Согласно ст. 11 п. 5 ФЗ № 261 не допускается ввод в эксплуатацию зданий, строений, сооружений, построенных, реконструированных, прошедших капитальный ремонт и не соответствующих требованиям энергетической эффективности и требованиям оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов классом энергоэффективности ниже  $C$ . В связи с этим положением необходимо внедрить в систему теплоснабжения многоквартирного дома теплообменное оборудование с целью повышения энергоэффективности и реализации энергосберегающих мероприятий.

В таблице после проведенных расчетов представлен сравнительный анализ двух тепловых систем, которые могут быть внедрены в систему теплоснабжения многоквартирного дома в г. Казань [4].

### Сравнительный анализ тепловых пунктов (ТП)

ТП со смесительным насосом		ТП с тепловым электрическим насосом	
Достоинства	Недостатки	Достоинства	Недостатки
Простота в эксплуатации, низкая стоимость	Низкий коэффициент энергетической эффективности	Совместимость с центральной системой отопления	Необходимость установки трехфазной сети
	Низкий диапазон регулирования мощности	Тепловые потери не более 100 Вт/м <sup>2</sup>	Необходимость добавления дополнительного источника тепла, где температура ниже –20 °С
	Низкий коэффициент смешения тепловых потоков	Бесперебойная работа в течение 25–30 лет	

После проведенных расчетов и сравнительного анализа результаты показали, что внедрение в систему теплоснабжения теплового электрического насоса является наиболее оптимальным вариантом. Нашей задачей является выбор оптимального решения, по переводу существующей системы теплоснабжения многоквартирного дома, для снижения потребления тепловой энергии за счет внедрения теплообменного оборудования.

### Источники

1. Официальный портал Казани [электронный ресурс]. URL: <https://kzn.ru/prinyat-uchastie/proekty/kapremont> (дата обращения: 28.02.2021).
2. Управляющая компания «Уютный дом» г. Казань [электронный ресурс]: сайт. URL: <https://www.uyutd.com/information> (дата обращения: 28.02.2021).

3. Методика расчета энергетической эффективности систем отопления жилых и общественных зданий: метод. пособие / В.Г. Гагарин [и др.]. М., 2018, 102 с.

4. Расщепкин А.Н., Столетов В.М. Тепловые насосы: учеб. пособие. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2020. – 128 с.

УДК 621.311.22

## ПРИМЕНЕНИЕ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

К.А. Фатхуллина<sup>1</sup>, Р.К. Юмаев<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>kam01fat@mail.ru, <sup>2</sup>mr.yafizov1999@mail.ru

Науч. рук. А.М. Грибков

Рассмотрены перспективы развития энергетики Российской Федерации (РФ) путем внедрения парогазовых установок. Решение данной задачи приведет к повышению эффективности, экологичности, электрического КПД и эксплуатационных показателей энергетических установок тепловых электростанций.

**Ключевые слова:** парогазовая установка, газотурбинная установка, развитие энергетики РФ, энергоэффективность.

Комбинация циклов Брайтона для газотурбинных установок (ГТУ) и цикла Ренкина для паротурбинных установок (ПТУ) позволила увеличить температуру горячего источника до характерных значений ГТУ, а температуру холодного источника оставить на уровне, характерном для ПТУ, и тем самым существенно (почти на 10 %) повысить КПД парогазовой установки (ПГУ) по сравнению с паротурбинным циклом.

В настоящее время доля ГТУ и ПГУ в единой энергетической системе России существенно растет [1]. Так, например, за последние 10 лет в России введены в эксплуатацию более 45 мощных парогазовых энергоблоков, среди которых:

– Москва (3 ПГУ мощностью 450 МВт; 3 ПГУ мощностью 420 МВт; 1 ПГУ мощностью 220 МВт; 2 ПГУ мощностью 121 МВт);

– Санкт-Петербург (2 энергоблока мощностью 450 МВт; энергоблоки мощностью 450 МВт; энергоблок в составе двух ПГУ-180);

– Сочи (3 энергоблока: 2 энергоблока мощностью 39 МВт каждый и 1 энергоблок 80 МВт);

- Челябинская ТЭЦ-4 (3 ПГУ мощностью 247 МВт, 247,5 МВт и 263 МВт соответственно);
- Калининградская ТЭЦ-2 (2 ПГУ мощностью 450 МВт каждая);
- Тюменская ТЭЦ-1 (2 ПГУ мощностью 220 МВт каждая);
- Краснодарская ТЭЦ (1 ПГУ мощностью 440 МВт);
- Челябинская ТЭЦ-3 (1 ПГУ мощностью 230 МВт);
- Новгородская ТЭЦ (1 ПГУ мощностью 220 МВт);
- Вологодская ТЭЦ (1 ПГУ мощностью 110 МВт);
- 1 ПГУ мощностью 330 МВт на Новогорьковской ТЭЦ (Нижегородская область, г. Кстово);
- Кировская ТЭЦ-3 (1 ПГУ мощностью 236 МВт);
- Казанская ТЭЦ-3 (1 ПГУ мощностью 405,6 МВт);
- Казанская ТЭЦ-2 (2 ПГУ мощностью 110 МВт каждая);
- Казанская ТЭЦ-1 (2 ПГУ мощностью 123 МВт каждая);
- 1 ПГУ мощностью 424,6 МВт на Яйвинской ГРЭС (Пермский край, пос. Яйва);
- 1 ПГУ мощностью 410 МВт на Среднеуральской ГРЭС ОАО «Энел ОГК-5» (Свердловская область);
- 1 ПГУ мощностью 410 МВт на Невинномысской ГРЭС ОАО «Энел ОГК-5» (Ставропольский край);
- 1 ПГУ мощностью 450 МВт на Череповецкой ГРЭС (Вологодская область, пос. Кадуй);
- Няганьская ГРЭС (3 энергоблока мощностью 1 269,8 МВт);
- 1 ПГУ мощностью 800 МВт на Киришской ГРЭС (Ленинградская обл., г. Кириши);
- 1 ПГУ суммарной мощностью 903 МВт на Пермской ГРЭС (Пермский край, г. Добрянка; самая мощная парогазовая установка в России с 2017 г.);
- 2 ПГУ мощностью 325 МВт каждая на Ивановской ГРЭС (Ивановская обл., г. Комсомольск);
- 1 ПГУ мощностью 400 МВт на Шатурской ГРЭС (Московская обл., г. Шатура);
- 1 ПГУ суммарной мощностью 100 МВт Шахтинская ГТЭС (Ростовская обл., г. Шахты) [2].

Поднятую тему повышения эффективности работы станций путем внедрения ПГУ рассмотрим на примере Республики Татарстан (РТ).

В РТ ПГУ были внедрены на всех Казанских ТЭЦ.

Также в сентябре 2020 г. было начато строительство новой ПГУ мощностью 850 МВт на Заинской ГРЭС, которое завершится к концу 2023 г. [3].

Так, 27 декабря 2014 г. на Казанской ТЭЦ-2 был введен в эксплуатацию новый энергоблок ПГУ-220 МВт. Установленная электрическая мощность станции увеличилась со 190 МВт до 410 МВт. КПД нового энергоблока 52 % (эффективность возросла на 19 %). Новое оборудование позволило увеличить выработку электрической и тепловой энергии без дополнительной нагрузки на окружающую среду.

Схема ПГУ-220 МВт принята из двух блоков по 110 МВт. Основное оборудование блока ПГУ:

- газотурбинная установка PG 6111FA компании «General Electric» мощностью 77 МВт;
- котел-утилизатор E-115/16-8,1/0,7-535/220 двухконтурный производства ОАО «ЭМАльянс»;
- паровая турбина с теплофикационным отбором пара Т-26/36-7,5/0,12 ОАО «Калужский турбинный завод»;
- дожимная газокompрессорная установка компании «Atlas Copco» [4].

Летом 2017 г. на Казанской ТЭЦ-3 был введен в эксплуатацию построенный в рамках модернизации новый блок на базе крупнейшей в России (405,6 МВт) газовой турбины 9HA.01 (General Electric), на выхлопе которой установлен котел-утилизатор HRSG 401/121-17,13/6,15-571/322 (СМІ Energy). КПД газовой турбины может достигать 42 % [5].

В августе 2018 г. на Казанской ТЭЦ-1 введена ПГУ-246 в составе двух блоков ПГУ по 123 МВт.

Основное оборудование блока ПГУ:

- газотурбинная установка PG 6111FA компании «General Electric»;
- котел-утилизатор двух давлений типа Ед-160/14-9,0/0,7-525/210 производства ОАО «ЭМАльянс»;
- паровая турбина КТ-46-8,8 АО «Уральский турбинный завод» [6].

Таким образом, мы показали перспективную тенденцию развития энергетики и убедились, что в РФ идет поступательное внедрение ПГУ с целью повышения энергоэффективности станций, а РТ является одним из лидеров по внедрению этого нового вида техники.

## Источники

1. Степанова Е.Л., Сушко С.Н. Определение средних удельных капиталовложений в строительство парогазовых установок, введенных в России за период 2010–2014 гг. // Вестник ИрГТУ. 2015. № 11 (106). С. 171–175.
2. «Парогазовая установка» [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Парогазовая\\_установка](https://ru.wikipedia.org/wiki/Парогазовая_установка) (дата обращения: 11.02.2021).
3. «В Татарстане начали строительство парогазовой установки на Заинской ГРЭС» [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/20200908/tatarstan-1576940626.html> (дата обращения: 11.02.2021).
4. «Проект «Казанская ТЭЦ-2. Строительство ПГУ-220 МВт» – крупнейший в Республике Татарстан за последние годы» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tatenergo.ru/press/news/2027/> (дата обращения: 11.02.2021).
5. «Казанская ТЭЦ-3» [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Казанская\\_ТЭЦ-3](https://ru.wikipedia.org/wiki/Казанская_ТЭЦ-3) (дата обращения: 11.02.2021)
6. «Новый энергоблок ПГУ-230 МВт ввели в работу на Казанской ТЭЦ-1» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tatenergo.ru/press/news/11679/> (дата обращения: 11.02.2021).

УДК 621.175

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ДЕАЭРИРУЮЩЕГО КОНДЕНСАТОСБОРНИКА

Я.О. Шайхутдинов<sup>2</sup>, А.Д. Водениктов<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>jara2105@mail.ru, <sup>2</sup>Vodhan@mail.ru

Науч. рук. А.И. Минибаев

Представлены результаты исследования выносного деаэрирующего конденсатосборника. Его применение позволяет добиться снижения концентрации кислорода ниже норм, установленных правилами технической эксплуатации, а также обеспечивает поддержание нормального водно-химического режима. Во время проведения испытаний содержание кислорода снизилось до 8 мкг/дм<sup>3</sup>.

**Ключевые слова:** конденсатосборник, деаэрация, кислород, коррозия, конденсат.

Важным показателем качества работы конденсационной установки является концентрация растворенного кислорода в основном конденсате. Величина данного параметра, согласно правилам технической эксплуатации (ПТЭ), не должна превышать 20 мкг/дм<sup>3</sup> [1]. Рост концентрации кислорода приводит к интенсификации коррозии конденсатно-питательного тракта и снижению надежности работы электростанции.

В наше время отсутствуют инновационные предложения по увеличению деаэрирующей способности конденсатора, однако одним из способов можно назвать применение деаэрирующих конденсатосборников.

Модернизация тепловой схемы с помощью деаэриционного конденсатосборника, разработанного компанией «Экотех», была выполнена на турбине ПТ-60-130/13 Набережночелнинской ТЭЦ, оснащенной конденсатором 60-КЦС. Данный конденсатосборник предназначен для удаления кислорода из основного конденсата теплофикационных турбин и, тем самым, защиты конденсатно-питательного тракта от коррозии. Схема конденсатосборника показана на рис. 1.

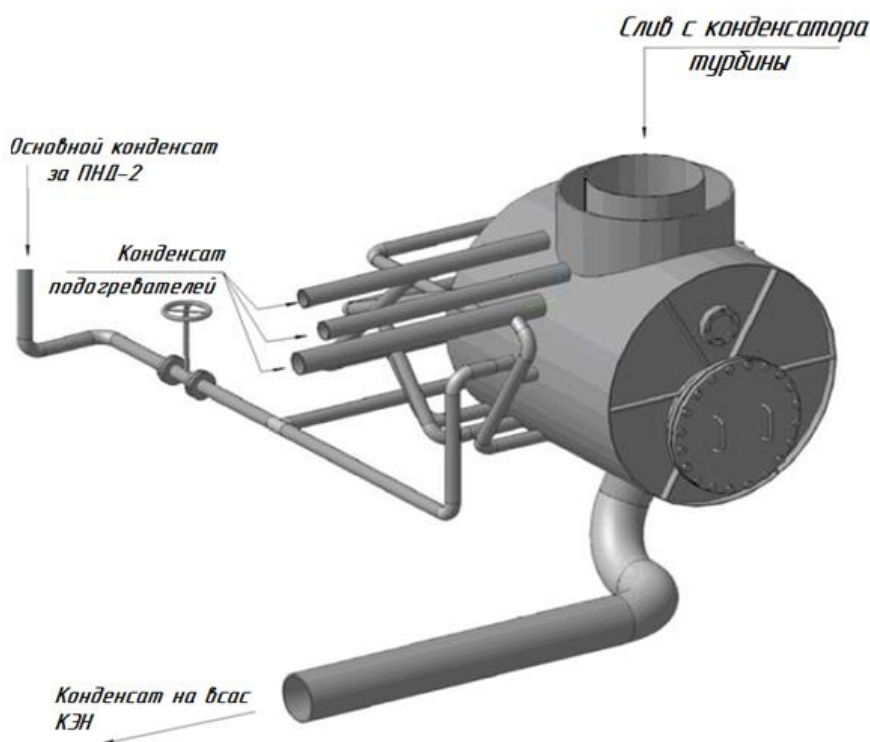


Рис. 1. Схема деаэриционного конденсатосборника

Программа испытаний установленного конденсатосборника предусматривала доведение концентрации растворенного кислорода до величин, установленных ПТЭ. График изменения концентрации кислорода в период проведения испытаний представлен на рис. 2.

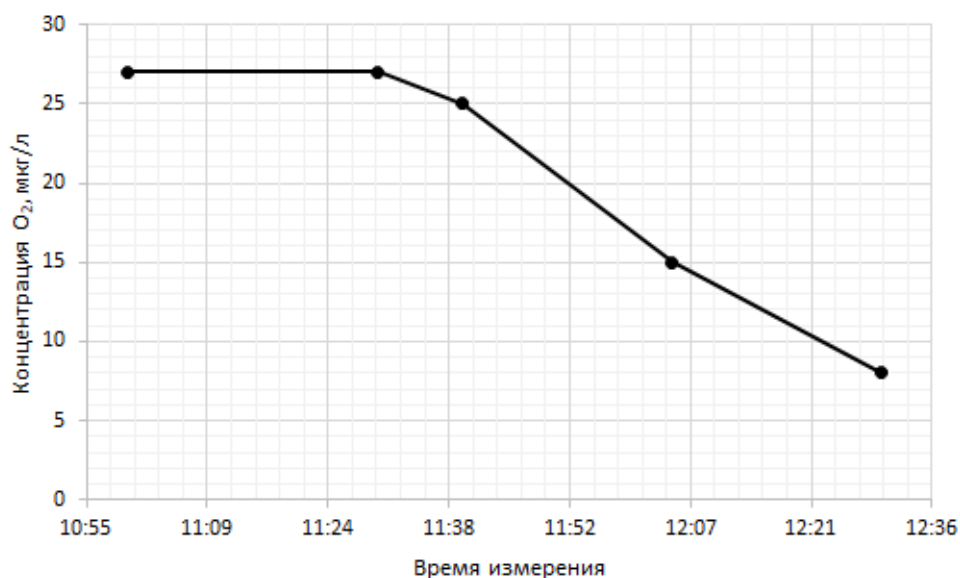


Рис. 2. График изменения концентрации кислорода

Результаты показали, что при работе конденсатосборника наблюдается устойчивое поддержание концентрации растворенного кислорода на уровне 10 мг/дм<sup>3</sup>.

Включение данного конденсатосборника в работу наиболее целесообразно во время пусковых операций, а также при работе турбины с низким пропуском пара в конденсатор. Так как, согласно [2], при увеличении расхода пара в конденсатор, величина растворенного кислорода в основном конденсате будет снижаться.

Работа данного устройства имеет смысл также при снижении температуры охлаждающей воды, что также приводит к повышению кислородосодержания [3].

### Источники

1. СО 153-34.20.501-2003. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ. М., 2003. 368 с.
2. Деаэрирующий конденсатосборник для турбин (ДК ЭКОТЕХ) [Электронный ресурс]. URL: <https://ecology-technology.ru/catalog-oborudovaniya/dk-ecotech-dlja-turbin/> (дата обращения: 08.03.2021).
3. Водениктов А.Д., Чичирова Н.Д. Влияние температуры охлаждающей воды на деаэрирующую способность конденсатора 200-КЦС-2 // Труды Академэнерго. 2020. № 4 (61). С. 7–18.



## ВАРИАНТЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ОТРАБОТАВШИХ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК АЭС

Я.О. Шайхутдинов<sup>1</sup>, Д.А. Макуева<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>jara2105@mail.ru, <sup>2</sup>dil.avp@mail.ru

Науч. рук. А.И. Минибаев

После использования в ядерном реакторе отработавшие тепловыделяющие сборки помещаются в бассейн выдержки, где продолжают выделять энергию. В данной статье рассматриваются возможные способы накопления остаточного энерговыделения тепловыделяющих сборок.

**Ключевые слова:** тепловыделяющая сборка, остаточное энерговыделение, ГАЭС, бассейн выдержки, накопительные резервуары.

В наше время тепловыделяющие сборки (ТВС) используются в ядерных реакторах 4–5 лет, после чего извлекаются и помещаются в бассейн выдержки (БВ). Находясь в бассейне, остаточное энерговыделение отработавших ТВС (ОТВС) постепенно снижается [1].

Энергию, выделяемую ОТВС во время пребывания в БВ, можно накапливать, например, в виде горячей воды в специальных резервуарах. Для расчета мощности остаточного тепловыделения можно воспользоваться формулой Вэя-Вигнера [2].

Полное расчетное остаточное энерговыделение одной ОТВС реактора ВВЭР-1000 приведено в таблице [3].

Полное расчетное остаточное энерговыделение одной ОТВС ВВЭР-1000

Параметр	Время хранения					
	6 мес.	1 год	2,3 года	3 года	10 лет	30 лет
$(W_{\alpha} + W_{\beta})$ , МэВ/ОТВС	5,99·1 016	4,96·1 016	3,1·1 016	2,42·1 016	3,66·1 015	1,58·1 015
$(W_{\alpha} + W_{\beta})$ , Вт/ОТВС	9610	7940	4964	3870	587	254

После анализа литературы были выявлены следующие варианты накопления энергии остаточного энерговыделения ОТВС.

Во-первых, накопление горячей воды в специальных резервуарах [4]. Для этого между БВ и баком-резервуаром устанавливается теплообменный аппарат, в котором циркулирует горячая вода из бассейна и передает теплоту холодной воде, поступающей от потребителя. Предлагаемая схема приведена на рисунке.



Использование накопительного резервуара

Во-вторых, ОТВС после извлечения из реактора имеют температуру порядка 300 °С [5]. Такую температуру можно использовать для получения термической ЭДС благодаря эффекту Зеебека. Если установить систему, которая реагирует на разницу температур, то полученную энергию можно использовать для питания насоса, который будет перекачивать воду в водонапорную башню в часы уменьшения водопотребления и расходовать ее в периоды повышения водопотребления.

Использование данных способов поможет накапливать остаточное энерговыделение ОТВС, что приведет к более эффективному использованию бассейна выдержки атомной электростанции.

## Источники

1. «Как производится ядерное топливо» [Электронный ресурс]. URL: <https://rosatom-easteurope.com/journalist/smi-about-industry/kak-proizvoditsya-yadernoe-toplivo/> (дата обращения: 04.03.2021).

2. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта / С.А. Андрущечко [и др.]. М.: Логос, 2010. 171 с.

3. Оценка остаточного тепловыделения отработавшего топлива ВВЭР-1000 / С.А. Письменецкий [и др.] // Вестник Харьковского университета. 2008. № 794. С. 69–72.

4. Jose I. Linares, María M. Cledera. Sizing of thermal energy storage devices for micro-cogeneration systems for the supply of domestic hot water // Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2014. Vol. 5. Pp. 37–43.

5. Способ использования в системе горячего водоснабжения отработанного ядерного топлива: пат. 2672140 Рос. Федерация № 2017126650; заявл. 26.07.2017; опубл. 12.11.2018, Бюл. 32.

УДК 621.311.22

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ КОНДЕНСАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С БЛОКАМИ ТК-330-240**

Л.М. Шайхылимамов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
luna990219@mail.ru  
Науч. рук. А.Ш. Низамова

На сегодняшний день охрана окружающей среды является одной из самых острых и актуальных тем в сфере энергетики. В связи с этим в данной статье рассматривается вопрос о способах уменьшения выбросов серы в атмосферу.

**Ключевые слова:** экология, сероочистка, дымовые газы, тепловые электрические станции.

Тепловые электрические станции, работающие на угле или мазуте, оказывают вредное влияние на экологию в большом объеме в виде выбросов в окружающую среду. Как известно, при сжигании серосодержащего топлива вырабатывается два оксида серы, к ним относятся сернистый ангидрид ( $\text{SO}_2$ ) и серный ангидрид ( $\text{SO}_3$ ). Они в свою очередь несут вред не только здоровью всех живых существ, но и являются причиной разрушения различных материалов [2]. В связи с этим для решения данной проблемы были придуманы способы сероочистки дымовых газов, которые мы рассмотрим далее.

В нашей стране, как и во многих других, используется два основных способа снижения выбросов энергетическими установками, сжигающими серосодержащее топливо:

- предварительное (перед сжиганием) снижение серы в исходном топливе;
- очистка дымовых газов, выбрасываемых в атмосферу от окислов серы с помощью сероочистных установок.

По мнению исследователей, десульфуризация топлива (то есть предварительное снижение выбросов окислов серы), которая является следствием активной работой ТЭС. В техническом плане обессеривание жидкого и твердого топлива является непростым процессом, несмотря на то, что решаются следующие две задачи: «устранение отрицательных последствий, связанных с образованием и прохождением по тракту котла окислов серы, повышение экономичности сжигания» [1]. Возможно, поэтому наиболее популярным стало использование очистки дымовых газов в специальных сероулавливающих установках.

Также наиболее часто применяются установки сероочистки с применением дешевых природных реагентов – извести ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – гидрат оксида кальция) или известняка ( $\text{CaCO}_3$  – карбонат кальция) с получением в виде конечного продукта гипса или сульфатно-сульфитной смеси.

Все известные на сегодня способы организации технологического процесса удаления сернистого ангидрида из дымовых газов можно разделить на классификации следующим образом (которые в свою очередь также можно определить на мокрые и сухие в зависимости от того, в какой фазе происходит процесс связывания сернистого ангидрида) [3].

В индустриально развитых странах (Германия, США, Япония и страны Западной Европы) уже с начала 70-х гг/ эксплуатируются различные способы удаления сернистого ангидрида из дымовых газов. Такие ТЭС называют экологически безопасными, так как они имеют наименьшее количество выбросов в атмосферу. Но стоит учитывать, что сероочистные сооружения обходятся очень дорого, поэтому повышается цена на строительство станции и увеличиваются цены на тарифы электроэнергии.

Таким образом, в настоящее время в России и других странах мира остро стоит вопрос очистки дымовых газов от серы с помощью инновационных технологий, но также стоит обратить внимание, что их внедрение влечет за собой повышение цен на электроэнергию, что также может привести к увеличению налогов, и к другим последствиям в сфере экономики и не только. По этой причине данная проблема остается

актуальной и требует более эффективных решений, которые бы могли позволить не только использовать наиболее экологически чистые сооружения, но в то же время быть выгодными и экономичными для государств.

### Источники

1. Грибков А.М. Выбор оптимальных размеров дымовых труб и внешних газоходов: учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. 83 с.

2. Разва А.С. Лекции по курсу «Природоохранные технологии в промышленной теплоэнергетике». – Томск: Нац. иссл. Томский политех. Ун-т, 2010.

3. Шмиголь И.Н., Ольшанский Ю.П. Сероочистка дымовых газов тепловых электростанций: учеб.-метод. пособие. М.: ИУЭ ГУУ: ИПК госслужбы, 2006. 92 с.

4. Тепловые электрические станции: учеб. для вузов / В.Д. Буров [и др.]; под ред. В.М. Лавыгина, А.С. Седлова и С.В. Цанева. 3-е изд., стереот. М. : Издательский дом МЭИ, 2009. 466 с.

УДК 621.311.22

## ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ АБОНЕНТСКОГО ВВОДА СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА

Р.Н. Яковлев, О.С. Баймяшкина, А.И. Ляпин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
Филиал АО «СО ЕЭС» РДУ Татарстана, г. Казань  
<sup>1</sup>forklamb@gmail.ru, <sup>2</sup>olga010797@mail.ru

Рассмотрены вопросы организации абонентского ввода современного жилого многоквартирного дома. Представлены основные положения выбора оборудования абонентского ввода. Приведены особенности эксплуатации систем отопления и горячего водоснабжения жилого дома в зависимости от принятой технологической схемы. В работе представлено описание оборудования, входящего в состав индивидуального пункта отопления.

**Ключевые слова:** система отопления, система горячего водоснабжения, тепловая сеть, теплоснабжение, абонентский ввод, индивидуальный тепловой пункт, многоквартирный дом.

Вопросы организации в многоквартирном доме абонентского ввода, вопросы выбора типа технологической схемы, подключения оборудования системы отопления и горячего водоснабжения, определения рабочих характеристик и параметров работы абонентского ввода являются весьма актуальными для предприятий жилищно-коммунального хозяйства. Это связано с тем, что они непосредственно влияют на выполнение обязательных требований по энергосбережению в коммунальном хозяйстве, на экономию тепловых и водных ресурсов у абонентов, на эффективное использования теплоты различными потребителями. С каждым годом объём вводимого нового жилья в России увеличивается. О чем свидетельствуют статистические данные, приводимые в ежегодных отчётах Федеральной службы государственной статистики (РОССТАТ). Так, в 2019 г. количество вводимого жилья составило 79,4 млн кв. м, что на 4,9 % превышает показатель 2018 г. (75,7 млн кв. м). За 11 месяцев 2020 г. сдано 64,4 млн кв. м жилья, что на 1,4 % выше показателя за аналогичный период прошлого года [1]. Большое количество вводимых в эксплуатацию жилых многоквартирных домов оснащаются системами отопления и горячего водоснабжения, централизованно подключаемых к источникам теплоснабжения. Энергетические затраты у централизованных и децентрализованных систем сильно разнятся, этим можно объяснить и сложность в переводе централизованных систем к децентрализованным технологическим схемам [2].

Сложность организации абонентских вводов и выбора оборудования для систем отопления и горячего водоснабжения в коммунальной энергетике ЖКХ можно объяснить большим количеством организаций и предприятий готовых предоставить свою продукцию ресурсоснабжающим предприятиям и управляющим компаниям, и большим ассортиментом предлагаемого оборудования. Сегодня на рынке теплоэнергетического оборудования для ЖКХ представлено и современное оборудование, и оборудование, которое еще практически массово не применялось, и много некачественной и устаревшей продукции. Кроме того, часто регионы испытывают нехватку в квалифицированных специалистах, готовых проводить расчет и выбор необходимого оборудования. Такие компании вынуждены привлекать субподрядные проектные и строительномонтажные организации, что, в конечном итоге, увеличивает стоимость квадратного метра нового жилья или стоимость коммунальных услуг при модернизации существующих систем.

Задачей данной работы является определение структуры абонентского ввода, выбор технологической схемы в зависимости от предполагаемых условий эксплуатации оборудования, сбор и анализ технических данных и эксплуатационных характеристик (параметров теплоносителей, применяемых трубопроводов и их тепловой изоляции) для определения необходимого оборудования, определение линейки типоразмеров для выбранной технологической схемы [3].

На выбор типа технологической схемы влияет принятый способ подключения: систем отопления, установок ГВС, вентиляции, а также каких-либо иных технологических установок здания к тепловым сетям. В рамках работы рассматривались и сопоставлялись варианты организации абонентских вводов при зависимых и независимых схемах присоединения теплоиспользующих установок абонентов к закрытым и открытым двухтрубным системам городского теплоснабжения.

Сегодня современный абонентский ввод представляет сложную инженерно-технологическую структуру, связующую организацию системы горячего водоснабжения и подключение отопительных установок к отопительной сети, всевозможные насосные группы, узлы смешения. В зависимости от способа подключения появляется вариативность применения смесительного узла или теплообменных аппаратов, которые бы передавали тепло от горячей воды тепловой сети для нагрева водопроводной воды. Кроме того, абонентский узел предусматривает возможность применения аккумуляторов горячей воды, что позволяет сокращать расход и траты на нагрев сетевой воды, при этом объём баков и их технологическая обвязка, представляющая собой размещение в верхней или нижней отметке здания, зависит от принятого способа технологической схемы теплового узла.

Одним из способов повышения эффективности теплового ресурса у коммунального потребителя является применение индивидуальных тепловых пунктов [4], которые дают возможность использования обратной сетевой воды для частично-повторного её использования у абонента, что сокращает расход прямой сетевой воды, повышая тем самым эффективность системы теплоснабжения и сокращая затраты источника теплоснабжения на приготовление прямой сетевой воды.

Полностью автоматизированные индивидуальные тепловые пункты (ИТП) с высокой точностью поддерживают температуру теплоносителя обслуживаемых систем и выдерживают пиковые нагрузки в пределах заявленной максимальной мощности. Эффективность использования ИТП давно известна, и в последнее время массово применяется как в современном строительстве, так и при реконструкции старого фонда.

Применение энергоэффективных технологий в коммунальной энергетике при организации и обустройстве тепловых узлов на абонентском вводе и тепловых пунктов, грамотный выбор соответствующего оборудования позволяют обеспечить энерго- и ресурсосбережение в условиях постоянной увеличивающейся потребности в строящемся жилье.

### **Источники**

1. Заявление РОССТАТА [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/nedvizhimost/7626139> (дата обращения: 03.03.2021).

2. Зарипова А.Р., Вилданов Р.Р. Повышение эффективности отпуска тепла путем ввода в эксплуатацию новых котлов // Энергосбережение и водоподготовка. 2018. № 6 (116). С. 8–12.

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

4. Теплоснабжающий полигон с блочным тепловым пунктом для подготовки кадров в области энергоснабжения объектов жилищно-коммунального хозяйства / Н.Д. Чичирова [и др.] // Современные аспекты и актуальные вопросы разработки и применения профессиональных, образовательных и технических стандартов: матер. Междунар. науч.-метод. конф. 2017. С. 20–24.



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

УДК 534.6

### ПРИБОРНО-АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Т.Р. Абдуллин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
perm1ss10n@yandex.ru  
Науч. рук. А.Е. Кондратьев

Известно множество способов технической диагностики технологического оборудования, их которых наиболее удобным и достоверным можно назвать вибрационную диагностику. В статье описано несколько видов систем контроля состояния. В зависимости от вида машины, её состояния и других факторов может быть выбрана одна из систем или их сочетание.

**Ключевые слова:** виброакустическая диагностика, неразрушающий контроль, стационарная система.

Системы вибрационного контроля состояния могут быть стационарными, полустационарными или предусматривать использование переносных портативных сборщиков данных [1]. Выбор вида системы зависит от многих факторов:

- стоимости машины;
- скорости развития возможных повреждений;
- эффективности системы диагностики;
- стоимости системы контроля;
- доступности машины для обслуживания, ремонта, ведения контроля;
- безопасности работы системы и оборудования;
- стоимости системы контроля;
- целесообразности установки системы определённого вида в данной ситуации.

**Стационарные системы контроля.** В таких системах датчики вибрации, усилители сигнала, устройства обработки, хранения и вывода данных установлены постоянно. Сбор данных диагностики может осуществляться периодически или непрерывно. Обычно стационарные системы используют для дорогостоящих или особо важных машин и установок, а также в случае сложных задач контроля [2].

На рис. 1 представлена типичная стационарная система, работающая в реальном масштабе времени.

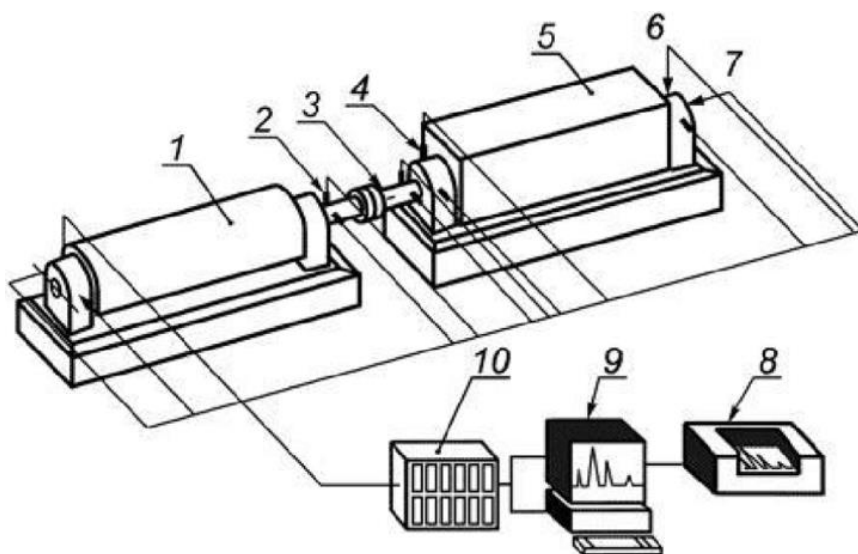


Рис. 1. Типичная стационарная система контроля в реальном масштабе времени

В соответствии со схемой, система диагностики состоит из механизма привода 1, датчика перемещений вала 2, отметки фазы 3, датчика на опоре 4, приводного механизма 5. Под номерами 6 и 7 указаны радиальное и осевое направления измерений. Устройство формирования сигнала 10, компьютер с устройством хранения данных 9 и принтер 8 необходимы для получения сигнала, его обработки, записи и вывода [3].

Существуют другие конфигурации систем контроля (например, системы, имеющие встроенное устройство формирования сигнала после его преобразования в цифровую форму) [4].

Большинство дефектов при эксплуатации приводит к изменению вибрации, испускаемой оборудованием при эксплуатации. Таким образом, измерив которые, можно получить информацию о техническом состоянии оборудования, причинах его изменения и оценить остаточный ресурс [5].

### Источники

1. ГОСТ Р ИСО 13373-1-2009 Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. М.: Стандартинформ, 2010. 47 с.
2. Оценка технического состояния подшипников качения виброакустическим методом / М.В. Акутин [и др.] // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2009. № 2. С. 55–57.

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

4. Загретдинов А.Р., Кондратьев А.Е., Зиганшин Ш.Г. Аппаратно-программное обеспечение ударно-акустического контроля композиционных конструкций [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. 2014. № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2597](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2597) (дата обращения: 23.01.2021).

5. Способ виброакустического контроля изделий и устройство для его осуществления: пат. 2455636 Рос. Федерация № 2010147778/28; заявл. 23.11.2010; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 19.

УДК 621-313.3

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ВИНТОВЫХ ДЕТАНДЕРОВ В КОТЕЛЬНОЙ**

Т.В. Антонова, Р.Р. Ротач  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
Науч. рук. Ю.В. Ваньков

Предложено внедрение детандерных установок в паровых и пароводяных котельных, что позволит значительно снизить расход энергоресурсов, а также избежать потери энергии при редуцировании пара. В настоящее время проблема электроснабжения в России очень актуальна. Это обусловлено систематическим повышением цен на энергоресурсы и низкой эффективностью их использования.

**Ключевые слова:** винтовой детандер, электроэнергия, газораспределительная станция, газораспределительный пункт, газопровод, теплоэнергетическая промышленность, энергосберегающее мероприятие.

Одним из наиболее актуальных направлений в области энергосбережения в газовой промышленности является применение винтовых детандеров для получения электроэнергии путем технологического перепада давления газа при его транспортировке. Данная тема является важнейшим вопросом Федеральной целевой программы «Энергоэффективная экономика», а также программы создания собственных источников электроснабжения компании «Газпром» от 20 октября 2000 г. [1].

Под детандерами понимают газотурбинные генераторы, функционирующие за счет перепада давления газа. Давление в магистральном газопроводе равно 5–7 МПа, а в сетях потребителя должно равняться 0,1–0,3 МПа. На сегодняшний день превышающее необходимую норму давление просто сбрасывается сначала на газораспределительной станции (ГРС) до 1,2 МПа, а затем в газораспределительном пункте (ГРП) [4].

Когда давление газа падает с 1,2 до 0,3 МПа температура его становится ниже на 50–60 °С (на это влияют состав газа и коэффициент полезного действия детандера), с 1,8 до 0,3 МПа разность температур увеличивается до 70–80 °С [4].

Винтовые детандеры могут быть задействованы на средних мощностях в пределах выработки электроэнергии от 250 кВт до 1,5 МВт [1]. Вопрос получения средних мощностей из известных источников слабо изучен специалистами. На мировом рынке винтовые детандеры представлены в недостаточном количестве. Основная причина данной проблемы – отсутствие их серийного производства в нашей стране и за рубежом. Лишь одно отечественное предприятие занималось новыми техническими разработками в данной области – АО «Казанькомпрессормаш» (Казанский завод компрессорного машиностроения). Но в кризисные 1990-е гг. завод пережил тяжёлые времена и был вынужден приостановить работу над множеством проектов, включая разработку винтового детандера. Зарубежные специалисты, занимающиеся компрессоростроением, только в 2006–2007 гг. сообщили, что произвели первые экспериментальные модели винтовых детандеров [1].

Применяя расширительные машины (детандеры) при небольших расходах и конденсации пара необходимо принять во внимание следующие условия:

- обеспечение высокой степени расширения газа;
- безопасная и результативная работа на переменных режимах;
- невосприимчивость к выпадению конденсата и возникновению гидратов при расширении.

Плюсы винтового детандера:

- высокая эффективность при действии с частичной нагрузкой в широком диапазоне нагрузок (КПД от 30 до 100 %);
- независимость работы детандера от изменения качества газа (допустимо наличие капелек воды в газе);
- небольшой размер машины (винтовой детандер занимает в 1,5–2 раза меньше места, чем турбина);
- сравнительно недорогое техническое обслуживание и ремонт;
- высокая маневренность при изменении режима работы, быстрый запуск и остановка [4].

В связи с непростой экономической ситуацией в теплоэнергетической промышленности, государственные предприятия и частные компании, работающие в данной отрасли, заинтересованы в проведении энергосберегающих мероприятий, позволяющих обеспечить рациональное использование материальных ресурсов. Представляется, что винтовые детандеры имеют все шансы стать наиболее востребованным оборудованием, учитывая их невысокую стоимость по сравнению с турбодетандерами, простоту и удобство технического обслуживания (по аналогии с винтовыми компрессорными установками), компактность и возможность использования на многих средних и малых предприятиях [1].

Высокий технологический эффект, получаемый при расширении природного газа в винтовом детандере, а также серийный выпуск винтовых компрессоров, которые могут быть использованы как расширительные машины, показывают, что их применение будет целесообразнее и эффективнее применения машин, работающих в настоящее время на газораспределительных станциях нашей страны [1].

Используя энергетический потенциал сред и газов во многих отраслях промышленности, детандерные установки позволяют в нужном количестве вырабатывать энергию - электрическую или энергию холода при минимуме затрат [2]. Применение винтовых детандеров на газораспределительных станциях (ГРС) позволит снизить стоимость вырабатываемой электроэнергии в 5–10 раз по сравнению со стоимостью электроэнергии, вырабатываемой на газотурбинных (ГТЭС) или газопоршневых (ГПЭС) электростанциях, и в 20–30 раз по сравнению со стоимостью электроэнергии сбытовых компаний [1].

Объем потребления электроэнергии на средних и малых предприятиях может достигать от 2 до 15 МВт. Выработка 250 кВт – 1,5 МВт электроэнергии при использовании винтового детандера может способствовать дополнительной экономии денежных средств (до 10 %).

Внедрение детандерных технологий целесообразно также на газораспределительных пунктах промышленных и отопительных котельных. В случае использования винтовых детандеров на котельных, потребуется выработка электроэнергии без энергии холода, для чего будет необходим подогрев газа перед детандированием [3]. Строение котельных позволяет работать с различными источниками низкопотенциального тепла (НПТ), к которым относятся отходящие газы котлов, прямая сетевая вода, дымовые газы [2].

На основании вышеизложенного можно заключить, что для повышения эффективности производства, снижения затрат и экономии энергоресурсов целесообразно внедрять передовые технологии. Сегодня

в республике Башкортостан успешно функционирует ряд малых предприятий, ориентированных на опытно-конструкторскую и производственную деятельность и способных создавать в рыночных условиях конкурентоспособный, востребованный продукт.

### Источники

1. Стратегия научно-технологического прорыва: сб. науч. тр. / под ред. Ю.В. Яковца и О.М. Юня. М: МФК, 2001, 201 с.
2. Репин А.Л. Повышение эффективности работы паровых котельных при использовании когенерационных установок с винтовым двигателем: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Краснодар, 2006. 24 с
3. Левин Б.И., Степина Е.С. Комбинированные источники электропитания на базе паровых и водогрейных котельных // Новости теплоэнергетики. 2002. № 6. С. 30–35.
4. Сухоцкий А.Б. Вторичные энергетические ресурсы [Электронный ресурс]. URL: <https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/11258/25/lekciya-25.pdf> (дата обращения: 05.02.2021).

УДК 621.1

## РАСЧЕТ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИБОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА УКАЗАТЕЛЯ ЧИСЛА МАХА

И.А. Арсланов, Н.А. Малёв, К.Х. Гильфанов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
ilnarka1998@mail.ru

Рассмотрены особенности синтеза цифрового корректирующего устройства приборного электропривода указателя числа Маха, построенного по принципу следящих приборных электроприводов с компенсационным методом измерения.

Синтезированный цифровой регулятор измерительной системы регистрации числа Маха позволяет повысить точность получаемой информации при дистанционной передаче.

**Ключевые слова:** регулятор, электропривод, измерение давления, передаточная функция, быстродействие, следящие приборы, компенсационный метод.

Для программирования цифрового регулятора углового перемещения и моделирования цифро-аналоговой измерительной системы был получен алгоритм работы цифрового регулятора углового перемещения.

Дискретная передаточная функция регулятора углового перемещения:

$$W_{\text{рп}}(z) = \frac{U_{\text{цр}}(z)}{\Delta U_{\alpha}(z)} = \frac{B(z)}{D(z)} = \frac{b_4 z^4 + b_3 z^3 + a_2 z^2 + b_1 z + b_0}{z^4 + d_3 z^3 + d_2 z^2 + d_1 z + d_0} =$$

$$= \frac{22,3677 z^4 - 84,9639 z^3 + 121,1048 z^2 - 76,7781 z + 18,27}{z^4 - 2,0588 z^3 + 0,6457 z^2 + 0,9043 z - 0,4912}.$$

После преобразования будем иметь:

$$W_{\text{рп}}(z) = \frac{U_{\text{цр}}(z)}{\Delta U_{\alpha}(z)} = \frac{B(z)}{D(z)} = \frac{b_4 + b_3 z^{-1} + b_2 z^{-2} + b_1 z^{-3} + b_0 z^{-4}}{1 + d_3 z^{-1} + d_2 z^{-2} + d_1 z^{-3} + d_0 z^{-4}}. \quad (1)$$

Перепишем (1) в виде:

$$U_{\text{цр}}(z) = (b_4 + b_3 z^{-1} + b_2 z^{-2} + b_1 z^{-3} + b_0 z^{-4}) \cdot E(z), \quad (2)$$

где

$$E(z) = \frac{\Delta U_{\alpha}(z)}{1 + d_3 z^{-1} + d_2 z^{-2} + d_1 z^{-3} + d_0 z^{-4}}.$$

$$E(z) = \Delta U_{\alpha}(z) + [-d_3 E(z) z^{-1} - d_2 E(z) z^{-2} - d_1 E(z) z^{-3} - d_0 E(z) z^{-4}].$$

Уравнения реализуются в виде программы, структурная схема которой изображена на рис. 1.

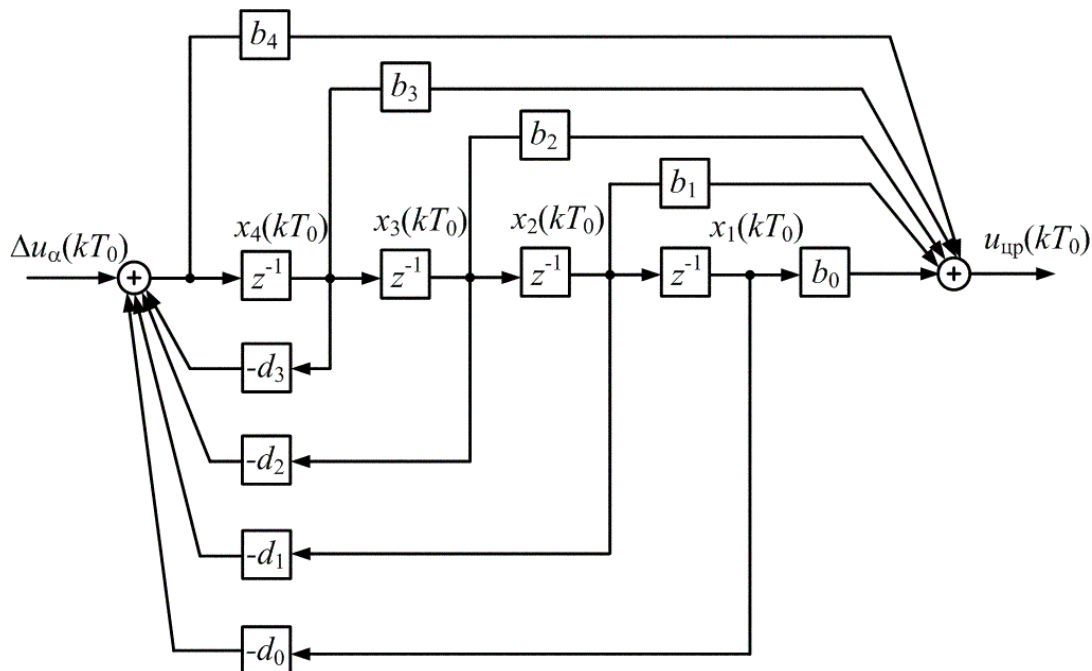


Рис.1. Структурная схема непосредственного программирования цифрового регулятора углового перемещения приборного электропривода

По схеме программирования находим уравнения состояния

$$\begin{aligned}x_1[(k+1)T_0] &= x_2(kT_0); \\x_2[(k+1)T_0] &= x_3(kT_0); \\x_3[(k+1)T_0] &= x_4(kT_0); \\x_4[(k+1)T_0] &= -d_0x_1(kT_0) - d_1x_2(kT_0) - \\&\quad -d_2x_3(kT_0) - d_3x_4(kT_0) + \Delta u_\alpha(kT_0);\end{aligned}$$

и уравнение выхода

$$\begin{aligned}u_{\text{цр}}(kT_0) &= (b_0 - d_0b_4)x_1(kT_0) + (b_1 - d_1b_4)x_2(kT_0) + \\&\quad + (b_2 - d_2b_4)x_3(kT_0) + (b_3 - d_3b_4)x_4(kT_0) + b_4\Delta u_\alpha(kT_0).\end{aligned}$$

Векторно-матричная форма уравнений цифрового регулятора положения электропривода с астатизмом второго порядка имеет вид:

$$\begin{bmatrix}x_1[(k+1)T_0] \\x_2[(k+1)T_0] \\x_3[(k+1)T_0] \\x_4[(k+1)T_0]\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0 & 1 & 0 & 0 \\0 & 0 & 1 & 0 \\0 & 0 & 0 & 1 \\-d_4 & -d_3 & -d_2 & -d_1\end{bmatrix} \begin{bmatrix}x_1(kT_0) \\x_2(kT_0) \\x_3(kT_0) \\x_4(kT_0)\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}0 \\0 \\0 \\1\end{bmatrix} \Delta u_\alpha(kT_0);$$

$$\begin{aligned}u_{\text{цр}}(kT_0) &= [b_0 - d_0b_4 \quad b_1 - d_1b_4 \quad b_2 - d_2b_4 \quad b_3 - d_3b_4] \times \\&\quad \times \begin{bmatrix}x_1(kT_0) \\x_2(kT_0) \\x_3(kT_0) \\x_4(kT_0)\end{bmatrix} + [b_4] \Delta u_\alpha(kT_0).\end{aligned}$$

Результаты моделирования показаны на рис. 2, 3.

Из анализа графика на рис. 2 видно, что перерегулирование не превышает 5,6 %, а первое время достижения установившегося значения составляет 0,15 с. В целом процесс управления с синтезированным цифровым регулятором по сравнению с ПИД-регулятором



углового перемещения является менее колебательным при сохранении прежнего быстродействия, что благоприятно сказывается на работе ПЭП в режиме слежения.

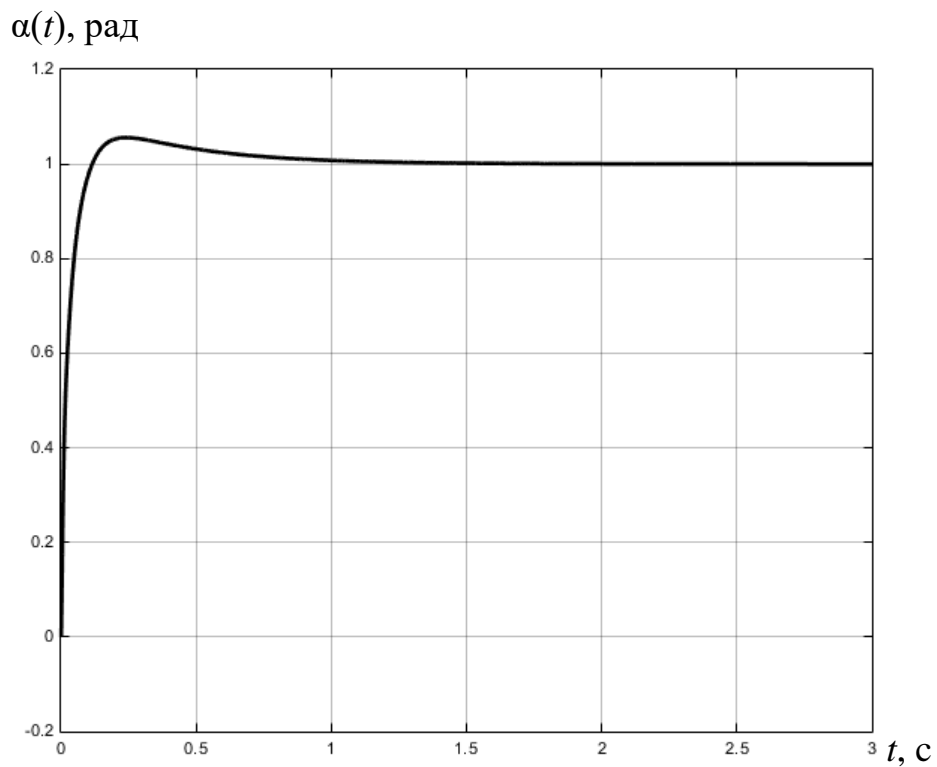


Рис. 2. Переходная характеристика системы по задающему воздействию

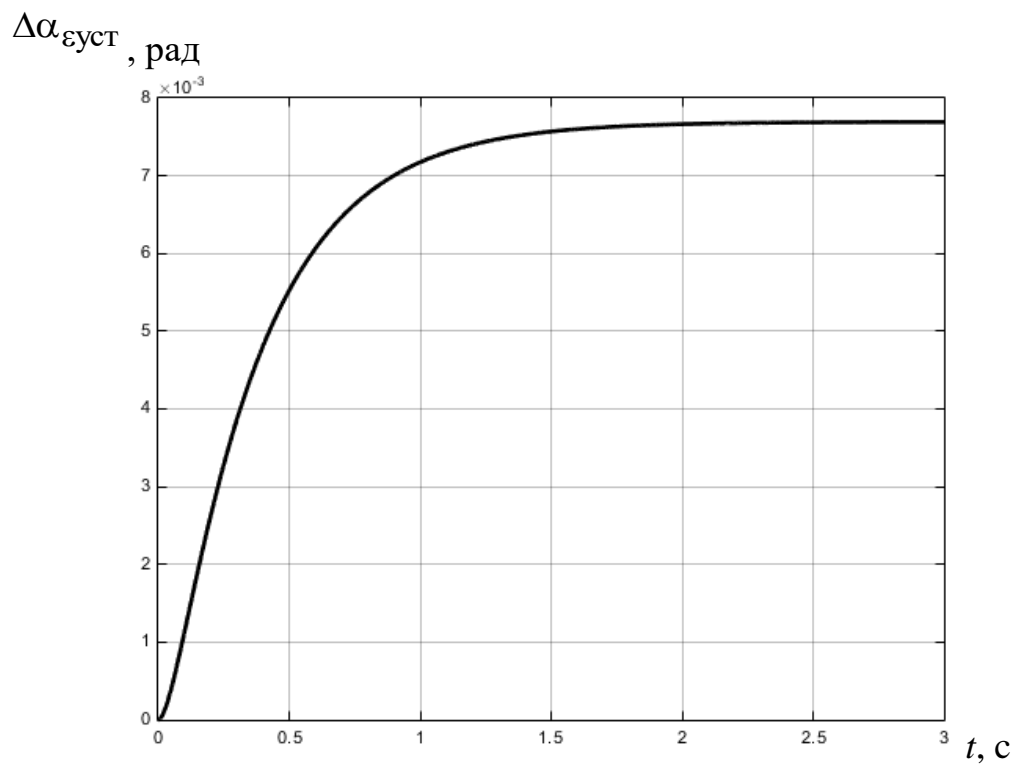


Рис. 3. График ошибки системы при квадратично возрастающем задающем воздействии

На рис. 3 представлен график ошибки системы при обработке типового задающего воздействия  $\varepsilon_{\max} t^2/2$ . Установившаяся ошибка системы  $\Delta\alpha_{\text{уст}}$  составляет 25 угл. мин, что соответствует заданной ошибке  $\Delta\alpha_{\varepsilon} = 25$  мин. Моментная составляющая ошибки пренебрежимо мала.

### Источники

1. Волков Н. И., Миловзоров В. П. Электромашинные устройства автоматики: учеб. для вузов. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Высшая школа, 1986. 335 с.
2. Основы электропривода: метод. рекомендации по курсовому проектированию. Казань, 2000.
3. Малёв Н.А., Погодицкий О.В. Моделирование цифро-аналоговой системы управления: лабор. практикум. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2004. 100 с.

УДК 697.92

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ С ВЫБОРОМ НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОГО ВАРИАНТА

Т.Р. Асадуллин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
Timur1357@mail.ru  
Науч. рук. Р.Н. Валиев

Предлагаются решения направленные на обеспечения вентиляции и очистки воздуха в помещениях производственного процесса. Рассмотрены преимущества и недостатки основных типов вентиляционных систем, при помощи которых удастся решить поставленную проблему.

**Ключевые слова:** вентиляционные системы, воздух, естественная вентиляция, механическая система вентиляции.

В ходе производственного процесса происходят выделения вредных для здоровья человека газов и паров в воздух рабочих помещений; поступают большие количества теплоты, влаги и пыли, увеличивающие температуру воздуха и влажность, повышающие его запыленность; сотрудники в свою очередь выделяют в воздух помещений теплоту, влагу, углекислый и иные газы. В результате этого происходит изменение химического состава воздуха, что неблагоприятно отражается на само-

чувствии и состоянии здоровья человека и ухудшает условия труда [1]. Уменьшение концентрации кислорода в помещении значительно снижает уровень работоспособности, губительно воздействует на самочувствие и здоровье в целом. В следствии этого вопросы обеспечения вентиляции и очистки воздуха стали наиболее актуальными. Современные системы вентиляции предназначены эффективно удалять застоявшийся, «отработанный» воздух, в достаточном объёме заменять его свежим воздухом извне, при необходимости очищая, нагревая или охлаждая его. В таких ситуациях становится вопрос более действенного варианта системы вентиляции. Для решения данной проблемы рассмотрим различные системы вентиляции, используемые в производственных зданиях и выделим наиболее эффективные из них по разным аспектам. Вентиляционные системы подразделяются на различные типы по принципу устройства, назначению, способу побуждения движения воздуха и ряду других признаков [2].

Более простой и экономичной является естественная вентиляция, однако в современном строительстве её применимость невелика. Фактором являются невысокие показатели воздухообмена, зависимость её мощности от природных факторов, отсутствие стабильности, жёсткие ограничения на длину воздухопроводов и сечение вертикальных каналов.

Проанализируем механическую систему вентиляции. Её способ организации воздухообмена в различных помещениях является современным и очень эффективным. Работоспособность механической вентиляции не зависит от изменчивых погодных условий (температура воздуха, давление, сила ветра). Данный вид системы позволяет заменять любое количество воздуха, транспортировать его на существенное расстояние, создавать местную вентиляцию. Воздух, подаваемый в помещение, может быть особым образом подготовлен – подогрет, охлаждён, осушён, увлажнён и очищен. К недостаткам механической вентиляции можно причислить крупные начальные затраты, расходы на электроэнергию и эксплуатационное обслуживание.

Системы вентиляции делятся на приточные, вытяжные и комбинированные [1]. Приточная вентиляция осуществляет подачу в помещение свежего воздуха вместо отработанного, который удаляется через ограждающие конструкции или пассивные вытяжные каналы. Приточная вентиляция конструктивно считается одной из наиболее сложных. В результате устройства только лишь приточной вентиляции давление в помещении станет увеличиваться, а загрязнённый воздух может попасть в соседние помещения. По этой причине в основном используют комбинированную приточно-вытяжную вентиляцию с притоком и вытяжкой одинакового количества воздуха. Согласно исследованиям авторов [2],

наилучшие характеристики комфорта и производительности демонстрирует общеобменная приточно-вытяжная механическая вентиляция, которая широко применяется в новом строительстве. Сбалансированность приточно-вытяжного воздухообмена даёт возможность избежать сквозняков и забыть про эффект «хлопающих дверей».

В результате рассмотрения вышеупомянутых систем можно сделать вывод о том, что каждая система вентиляции имеет свои особенности. При выборе подходящей для конкретных условий системы нужно учитывать множество факторов: от специфики использования помещения до наличия препятствий для воздушного потока. Применение индивидуального подхода, основанного на сопоставлении различных систем вентиляции, позволит подобрать наиболее подходящий вариант для заказчика. При этом нельзя забывать, что от правильного выбора системы вентиляции зависит не только качество выпускаемой продукции, но и здоровье работников предприятия. Упускать этот важный момент и экономить на нем ни в коем случае нельзя.

### **Источники**

1. Фокин С.В., Шпортько О.Н. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха: устройство, монтаж и эксплуатация: учеб. пособие. М.: КНОРУС, 2016. 368 с.
2. Краснов В.И. Монтаж систем вентиляции и кондиционирования воздуха: учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2020. 224 с.

УДК 621.311

## **НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**

Р.Ш. Валиев  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
rimzilvaliev@yandex.ru  
Науч. рук. А.Р. Загретдинов

Основные методы неразрушающего контроля тепловых сетей. Описаны существующие методы неразрушающего контроля, а также возможности использования этих методов.

**Ключевые слова:** методы неразрушающего контроля, тепловые сети, эффективность.

Существенную значимость в энергетике имеет место безопасность эксплуатации тепловых сетей, так как требования к долговечности, эффективности, экологичности и надежности трубопроводов требуют регулярного усовершенствования средств и методов их контроля. Показатели качества работы установлены в СП 124.13330.2012 «Тепловые сети».

Экспертизу качества работы теплоэнергетического оборудования осуществляют при помощи неразрушающего контроля, технического диагностирования, технической проверки. Неразрушающий контроль — контроль надежности оборудования без демонтажа.

К основным видам НК, используемые при контроле тепловых сетей относятся: оптический, электрический, тепловой, ультразвуковой, радиационный, акустический метод течеискания и акустический метод эмиссии [1].

Важным фактором при выборе метода НК тепловых сетей является его возможность выявления дефектов и эксплуатационные характеристики объекта.

При оптическом методе проводят визуальный осмотр дефекта и измерение его размеров. С помощью данного метода выявляют дефекты размером от 0,1 мм: подрезы, наплывы, прожоги, высокую чешучатость, не заваренные кратеры. Основные приборы, используемые при оптическом методе: лупа, микроскоп, штангенциркуль, микрометры и др. Помимо оценки качества сварного шва, можно выявить нарушения производственного процесса и места возможного разрушения.

Электрический метод основан на регистрации параметров электрического поля, создаваемый внутри материала трубопровода. Электрическое поле создается прямым воздействием или косвенным (поле неэлектрического происхождения). Первичные информационные параметры: емкость или потенциал.

Дефекты, выявляемые при помощи электрического метода: пустоты, микротрещины, непровары, пористость.

Тепловой контроль – метод, основанный на фиксации и преобразовании инфракрасного излучения в видимый спектр. Различают: пассивный метод, в котором тепловое поле возникает на стадии изготовления и эксплуатации объекта; активный метод, где объект нагревается сторонним источником. Метод позволяет производить осмотр объектов в инфракрасном диапазоне спектра, выявлять дефекты и степень их развития, определять места тепловых утечек, проводить обследование качества тепловой изоляции и герметичности [2].

Основное оборудование, используемое при данном методе контроля – тепловизор, принцип действия которого основан на улавливании оптической системой прибора инфракрасного спектра излучения.

Ультразвуковой метод основан на проникновении в металл волн высоких частот и отражении от дефектов. Данный метод позволяет регистрировать дефекты и степень разрушения материала. Высокая эффективность выявления расположения, размера и формы дефекта определяется выбором типа волны и частотного диапазона [3].

С помощью ультразвукового метода НК можно определить: трещины, воздушные поры, расслоения зоны крупнозернистости, отложения шлака, неоднородные химические включения.

При проведении ультразвукового контроля используют высокочастотные дефектоскопы, пьезоэлектрические преобразователи, толщинометры. От чувствительности средств измерений зависит эффективность обнаружения дефекта.

Радиационный метод, основанный на регистрации проникающего гамма излучения после взаимодействия его с объектом, позволяет определить в сварных швах внутренние дефекты такие как: раковины, поры, трещины, шлаковые включения, непровары.

Физический принцип метода заключается в увеличении плотности потока заряженных частиц в местах скрытых неоднородностей.

Акустический метод течеискания. Основан данный метод на формировании звуковых колебаний при истечении газовых или жидкостных струй через щели или отверстия. Датчик течеискания, который фиксирует звуковые колебания, преобразовывает их в электрический сигнал и передает информацию записывающему устройству.

Акустический метод эмиссии основан на возникновении и распространении акустических волн при деформации и разрушении в объекте контроля. Характерная особенность заключается в том, что метод позволяет обнаруживать и регистрировать дефекты по степени их опасности. С другой стороны, метод ограничен по применению, так как сложно выделить сигналы акустической эмиссии из помех (сигналы АЭ являются шумоподобными).

Оценку состояния и контроль тепловых сетей следует проводить в комплексе. Акустический метод течеискания и тепловой метод НК позволяют определить места утечек среды из трубопровода, остальные дают информацию о деформации материала. Ультразвуковой метод из-за высоких требований к подготовке поверхности обследуемого объекта ограничен по протяженности и применяется в основном для сварных швов.

## Источники

1. Пархомчик Е.М. Неразрушающий контроль качества металла оборудования и трубопроводов ТЭС / Пархомчик Е.М., Герасимова А.Г. // Актуальные проблемы энергетики. СНТК — 74. – 74-78 стр.

2. Тихомиров С.А., Тихомиров А.Л., Шеина С.Г. Тепловой неразрушающий метод контроля состояния строительных конструкций подземных теплопроводов // Строительные материалы. 2015. № 6. С. 26–29.

3. Современные методы и системы неразрушающего контроля сварных изделий / Д.А. Прохоренко [и др.] // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: тр. Всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Новокузнецк, 2020. Вып. 24. С. 258–263.

УДК 621-313.3

## СРАВНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО ФАКТУ ПЕРЕВОДА С ОТКРЫТОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ЗАКРЫТУЮ В Г. НАБЕРЖНЫЕ ЧЕЛНЫ

А.Е. Галанина<sup>1</sup>, Ю.Н. Звонарева<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>nastusha.1996@mail.ru, <sup>2</sup>skulinaun@mail.ru

Предметом исследования является сравнение технических и экономических показателей по факту перевода с открытой системы теплоснабжения на закрытую в г. Набережные Челны.

**Ключевые слова:** открытые системы теплоснабжения, закрытые системы теплоснабжения, экономические показатели, технические показатели.

С 1 января 2013 г. вступили в силу поправки в федеральный закон от 27 июля 2010 г. № 190-ФЗ «О теплоснабжении» [1]. Наиболее значимая поправка – дополнение статьи 29 частью 8 (с 1 января 2013 г.). подключение объектов капитального строительства потребителей к централизованным открытым системам теплоснабжения (горячего водоснабжения) для нужд горячего водоснабжения, осуществляемого путем отбора теплоносителя на нужды горячего водоснабжения, не допускается. Кроме этого, значимо дополнение статьи 29 частью 9: с 1 января 2022 г. использование централизованных открытых систем теплоснабжения

(горячего водоснабжения) для нужд горячего водоснабжения, осуществляемого путем отбора теплоносителя на нужды горячего водоснабжения, не допускается.

Рассмотрим положительные экономические показатели смены открытой системы теплоснабжения на закрытую:

К первому преимуществу закрытой системы теплоснабжения относится долгий срок службы. Срок службы открытой системы в среднем составляет 7–12 лет, когда у закрытой – порядка 25 лет.

Следующим принципиальным преимуществом является меньшее зарастание труб закрытой системы. В открытой системе этот процесс происходит быстрее, что приводит к частым авариям.

Следовательно, замена труб в закрытой системе теплоснабжения производится реже, что позволит сэкономить бюджетные средства.

Для сравнения стоимости прокладки трубы для обеих систем проведём сметный расчёт в базе 2019 г. Для удобства расчёта возьмём 1 км труб диаметром 200 для закрытой и диаметром 200 и 300 для открытой систем. Расчёты приведены в таблице.

Таблица сметных расчётов в базе 2019 г.

Тип системы	Диаметр трубы	Цена трубы за 1 км. (без НДС), р	Цена работы (без НДС), руб.	Итоги
Закрытая	219	4 463 590	1 038 800	11 004 780
Открытая	219	4 463 590	1 038 800	12 536 310
	325	5 627 560	1 406 360	

Согласно полученным в ходе сравнения данным прокладка труб в открытой системе дороже на 1 531 530 руб. (без НДС).

Важной характеристикой трубопровода является пропускная способность. В открытой системе осуществляется разное потребление воды (в разные часы), поэтому для оптимальной скорости пропуска воды требуется постоянный расчёт. В закрытой же системе расход практически всегда постоянный. Таким образом, в открытой системе диаметр труб подачи и обратки будет разным. Трубы подачи будут иметь больший диаметр, трубы обратки – меньший. В закрытой системе диаметр труб будет одинаковым.

К преимуществам закрытой системы теплоснабжения, несомненно, относится улучшение качества воды. Это связано с тем, что горячая вода образуется путем подогрева холодной чистой воды [2].



В Набережных Челнах осталось 83 дома с открытой системой теплоснабжения, из которых порядка 40 имеют оборудование для перехода на закрытую систему. Однако в силу того, что расход подпиточной воды уменьшится, сократится и кратность объёма сетевой воды, а значит, значительно ухудшится качество горячей воды. Поэтому полный перевод будет произведен только после замены оборудования во всех домах [3].

Таким образом, переход с открытой на закрытую схему экономически выгоден, поскольку не требует частой замены труб, диаметр которых к тому же одинаков на всём участке, а также приведёт к улучшению качества воды у потребителей.

### **Источники**

1. О теплоснабжении [Электронный ресурс]: федер. закон от 27 июля 2010 г. № 190-ФЗ. URL: <https://legalacts.ru/doc/federalnyi-zakon-ot-27072010-n-190-fz-o/> (дата обращения: 11.02.2021).

2. «Отдел энергетики г. Набережные Челны» [Электронный ресурс]. URL: <http://nabchelny.ru/companu/34> (дата обращения: 11.02.2021).

3. «Проект схемы теплоснабжения города Набережные Челны» [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1876> (дата обращения: 11.02.2021).

УДК 571.17

## **ВАРИАНТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ**

Р.Р. Галеев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[galeev-radif@mail.ru](mailto:galeev-radif@mail.ru)

Науч. рук. Р.Н. Валиев

Обсуждаются возможности замены тепловых узлов и устройств, при этом тепловой узел дополняется системами автоматического контроля и управления.

**Ключевые слова:** модернизация, автоматизированная единая тепловая станция (АИТП), системы автоматического управления погодой (САПР), элеватор, манометр, двухходовой регулирующий клапан, циркуляционный насос, регулятор перепада давления.

Альтернативный вариант модернизации тепловых пунктов применительно к рассмотренным малобюджетным предложениям – внедрение полноценных систем автоматического управления погодой (далее САПР) на основе проверенных проектных решений, надежной элементной базы, микропроцессорного управления, отлаженного ПО и доступности специалистов по обслуживанию существующего оборудования. ИТП, оснащенный САПР, далее именуемый автоматизированным ИТП (АИТП) [1].

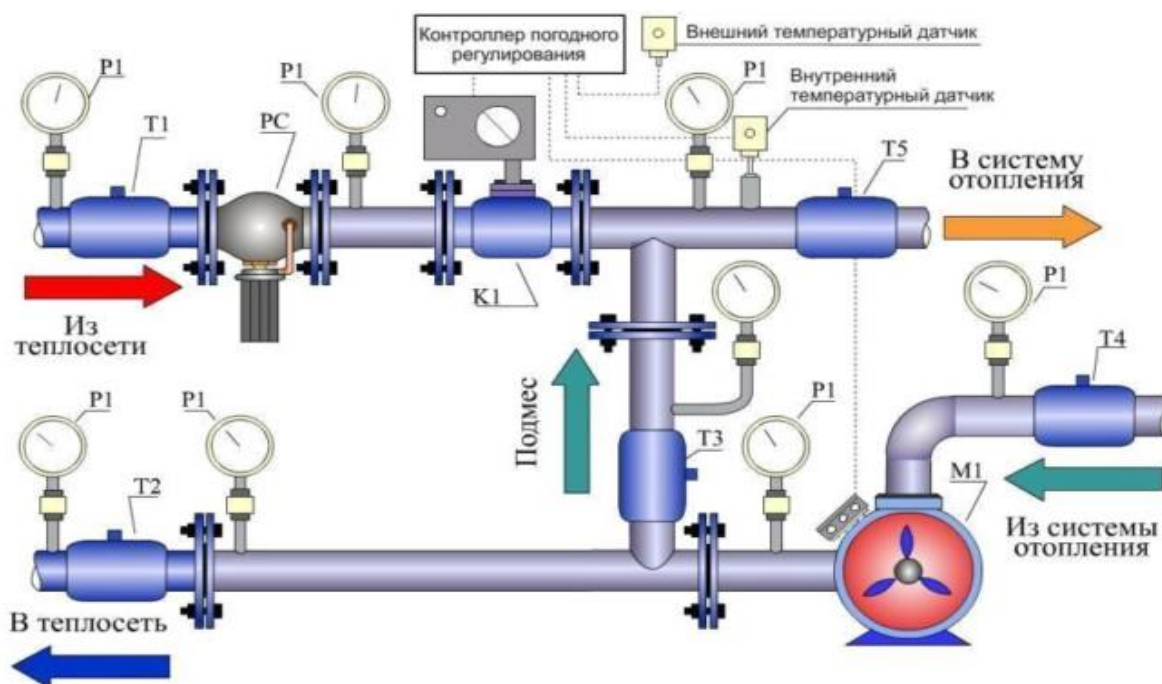


Рис. 1. АИТП на основе двухходового клапана:  $P1$  – манометр прямо-показывающий;  $T1-T5$  – кран шаровый;  $K1$  – двухходовой регулирующий клапан;  $PC$  – регулятор перепада давления;  $M1$  – циркуляционный насос

В исходном состоянии двухходовой клапан находится в состоянии, соответствующем температуре наружного воздуха ( $T_n$ ) и настройкам регулятора.

Теплоноситель из тепловой сети поступает в систему отопления МКД. Температура теплоносителя (смеси) после линии смешения  $T5$  измеряется внутренним датчиком температуры. Система управления пересчитывает требуемую температуру смеси на основе информации о температуре наружного воздуха. На этапе ввода в эксплуатацию в систему управления вводятся необходимые установочные данные, на основе которых рассчитывается температура смеси как функция температуры наружного воздуха. Циркуляция теплоносителя в системе осуществляется циркуляционным насосом  $M1$  [2].

Для всех многоквартирных домов, где установлено оборудование АИТП, значения годового расхода тепловой энергии на отопление были ниже нормативного значения. В соседних многоквартирных домах без АИТП, как правило, годовые значения потребления были выше нормы. Среднее значение экономии или перерасхода средств составляет – 25 % для МКД с АИТП и +5 % для ИТП на элеваторе [3].

Одна из основных причин массового использования АИТП – его относительно высокая стоимость.



Рис. 2. Смесительные узлы автоматического погодного регулирования СУАПР

В настоящее время доказал свою эффективность другой подход к модернизации ИТП, который позволяет в полной мере использовать технические преимущества АИТП и в то же время значительно снизить затраты на установку и ввод в эксплуатацию. СУАПР – это компактная автоматизированная смесительная установка, позволяющая регулировать параметры теплоносителя в системе отопления в зависимости от температуры наружного воздуха и условий эксплуатации здания. Он автоматически регулирует параметры теплоносителя, поступающего в систему отопления (температуру). Параметры контролируются контроллером (контроллером), который генерирует управляющие воздействия на регулирующий клапан и насос в соответствии с заданным алгоритмом и температурой наружного воздуха. При понижении наружной температуры температура теплоносителя, поступающего в систему отопления, повышается и наоборот.

СУАПР включает в себя:

- насос циркуляции теплоносителя в системе отопления;
- контроль выполнения заданного температурного плана как для подающего, так и для обратного теплоносителя (предотвращение перегрева и переохлаждения зданий);
- визуальный контроль температурных параметров на входе и выходе системы отопления.

СУАПР устанавливается на место водоструйных лифтов соответствующего типоразмера. Внешний вид сборки СУАПР показан на рис. 3.

Также в качестве примера приводится схематическая диаграмма СУАПР, установленного вместо водоструйного элеватора (рис. 3) [4].



Рис. 3. До модернизации ИТП (с элеватором)



Рис. 4. Замена элеватора на СУАПР

По желанию потребителя СУАПР может быть укомплектован двойным циркуляционным насосом и контроллером ПРТ-1М с функцией управления двумя насосами.

На основании вышеперечисленных материалов можно сделать следующие выводы:

Одной из основных причин перерасхода тепловой энергии на отопительные нужды является несоответствие режимов работы теплового пункта договорной тепловой нагрузке.

ИТП с элеваторными смесителями морально и технологически устарела и не может обеспечить рациональное и эффективное потребление тепловой энергии.

Попытки внедрения автоматизированных схем управления параметрами теплоносителя в лифтовых смесительных узлах не приводят к эффективному регулированию погодных условий.

Наиболее эффективное решение для рационального потребления тепловой энергии – полноценная АИТП с погодным регулированием. Однако их реализация в настоящее время ограничена довольно высокими ценовыми показателями.

Функции СУАПР аналогичны функциям полноценной автоматической системы управления погодой. В свою очередь, использование этих продуктов может значительно снизить затраты на внедрение. Это связано с тем, что при невысокой стоимости закупаемого оборудования при установке системы потребитель все равно получает значительную экономию средств, поскольку сварка сведена к минимуму или полностью отсутствует.

### **Источники**

1. Ляликов Б.А. Источники и системы теплоснабжения промышленных предприятий: учеб. пособие. 2-е изд. Томск: Томский политехнический университет, 2008. Ч. 1. 155 с.

2. Ляликов Б.А. Источники и системы теплоснабжения промышленных предприятий: учеб. пособие. 2-е изд. Томск: Томский политехнический университет, 2008. Ч. 2. 172 с.

3. Николаева А.А. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей. М.: Издательство литературы по строительству, 1965. 361 с.

4. «Приборы погодного регулирования». URL: <http://geosts.ru/services/uchet-teplovoy-energii/priboryi-pogodnogo-regulirovaniya/> (дата обращения: 14.03.2021).

## НОВЫЙ ПОДХОД К КОНТРОЛЮ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ НА ОСНОВЕ ЭНТРОПИЙНОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ВИБРОДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

С.О. Гапоненко, А.Р. Загретдинов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

sogaпоненко@yandex.ru

Представлен новый подход к контролю технического состояния трубопроводов на основе энтропийной параметризации вибродиагностических сигналов. Проведен анализ методов определения энтропийных показателей объектов (энтропии Шеннона, Колмогорова, Гиббса), выбран наиболее оптимальный для решения задачи вибродиагностики трубопроводов.

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

Широкое применение на сегодняшний день находят методы технической диагностики трубопроводов на основе вибрационного контроля. Это связано с тем, что установившийся вибросигнал объекта контроля обладает полной информацией о его техническом состоянии [1, 2, 5].

Наиболее популярными методами параметризации являются интегральные преобразования данных с помощью полных систем ортонормированных тригонометрических, специальных, обобщенных функций или специально подобранных локализованных функций – вейвлетов. Это преобразования Фурье, Лежандра, Уолша, другие подобные преобразования и вейвлет-анализ. Результатом таких процедур является получение некоторого конечного набора амплитуд базовых функций, суперпозиция которых с заданной точностью представляет исходные данные [3].

Известно, что колебания трубопроводов с учетом различных факторов, таких как влияние перекачиваемого вещества и грунта, как правило, имеют нелинейный и нестационарный характер. Учитывая сложность динамических взаимодействий при наличии дефектов, применение традиционных методов обработки является недостаточным и в ряде работ отечественных и зарубежных исследователей: Адаменкова К.А., Генкина М.Д., Павелко В.И., Финкеля Б.М., Абидовой Е.А., Чернова А.В., Адамса М.Л., Абу-Махфуза И.А. показано, что оборудование демонстрирует хаотическое поведение,

что отражается в характере диагностических сигналов. Это снижает достоверность результатов контроля, основанных на реализации классических методов анализа сигналов и не может быть эффективно идентифицированы традиционными методами [4].

В настоящее время оценка технического состояния объекта контроля ограничивается лишь спектральным анализом колебательных процессов. Методы логико-вычислительной обработки данных позволяют получать дополнительную полезную информацию о свойствах объекта исследования, выявив энтропийные показатели их поведения.

Новый подход к контролю технического состояния трубопроводов заключается в использовании методов энтропийной параметризации (энтропии Шеннона, Колмогорова, Гиббса). В связи с этим, применение методов энтропийной параметризации для анализа вибродиагностических сигналов позволит повысить достоверность контроля технического состояния трубопроводов, и как следствие, позволит существенно повысить их надежность и энергоэффективность, в том числе к уменьшению издержек на ликвидацию аварий, снижению потерь энергоносителя и экономии первичных энергоресурсов.

Проведенные исследования позволили сделать вывод, что наиболее оптимальный метод энтропийной параметризации для контроля технического состояния трубопроводов (поиск широко распространенных дефектов, таких как износ трубопроводов и его протечек) основан на анализе энтропии Шеннона.

Энтропия Шеннона определяется как функция состояния системы, а степень изменчивости процесса – как количественно оцененная неопределенность значений параметров, характеризующих систему. По увеличению ее значения можно судить о влиянии на исследуемый сигнал дефекта. Для вычисления информационной энтропии ( $H_{sh}$ ) К. Шенноном была предложена следующая формула:

$$H_{sh} = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log p_i ,$$

где  $p_i$  – вероятность попадания значения из выборки в  $i$ -й уровень;  $n$  – количество уровней.

По величине  $H_{sh}$  можно количественно оценить отклонения распределения значений временного ряда по уровням от равновероятного и охарактеризовать распределение значений временного ряда. Когда

величина  $H_{sh} = 0$  произошло заполнение значениями одного из уровней. Если значения распределены равномерно по уровням, то ее величина максимальна:

$$H_{sh} = \log n.$$

Изменение состояния системы ведет к смене распределения его параметров, что и приводит к изменению величины энтропии. В сигнале наблюдается увеличение глубины модуляции при развитии дефекта, а в спектре наблюдается рост боковых гармоник относительно несущей частоты  $f_n$ . Обращает на себя внимание изменение показателя энтропии при отклонении агрегата от исправного состояния, однако усиление дефекта не приводит к существенному росту ее величины, а последующие возрастание показателя является следствием роста шума [4].

В отличие от традиционных методов оценки нелинейных параметров, предлагается новый подход на основе методов энтропийной параметризации вибродиагностических сигналов, который является надежным, избирательным, простым, экологичным, не требующий специалистов высокой квалификации и малозатратным по сравнению с другими методами контроля.

### Источники

1. 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.

2. 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 – 2019: матер. XIV Междунар. молод. науч. конф. Казань, 2019. Т. 1, ч. 1. С. 3–6.

3. Чумак О.В. Энтропия и фракталы в анализе данных. М.; Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований. 2011. 164 с.

4. Хегай Л.С. Программно-технический комплекс системы диагностики электромеханического оборудования АЭС на основе энтропийной параметризации диагностических сигналов: дис. ... канд. техн. наук. Волгодонск, 2018. 138 с.



5. Гапоненко С.О. Акустико-резонансный информационно-измерительный комплекс и методика контроля местоположения заглубленных трубопроводов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2017. 22 с.

УДК 532.5

## **ДИАГНОСТИРОВАНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ТРУБОПРОВОДАХ**

Е.В. Гарнышова, Е.В. Измайлова, Е.В. Чикунова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

garnyshova@mail.ru

Науч. рук. Ю.В. Ваньков

Образования коррозии и коррозионных отложений на стенках трубопроводов – важная проблема в теплоэнергетике, так как снижают коэффициент теплопередачи, эффективность теплообмена и приводят к существенным потерям энергии. Современные методы контроля позволяют проводить диагностирование без вскрытия системы. Для определения очагов коррозионного поражения трубопроводов предлагается использовать метод свободных колебаний. Своевременное диагностирование трубопроводов, устранение повреждений при выявлении дефектов, чистка отложений может предотвратить аварийные ситуации, снизить риск порчи оборудования и трубопроводных систем, сокращая материальные затраты.

**Ключевые слова:** диагностирование, коррозионные отложения, неразрушающий контроль, метод свободных колебаний, спектры.

Для холодного и горячего водоснабжения, отопления применяются металлические трубы: из углеродистой стали оцинкованные и неоцинкованные (ГОСТ 3262-75, ГОСТ 10704-91, ГОСТ 8732-78), из нержавеющей стали (ГОСТ 9941-81) или меди (ГОСТ Р 52318-2005). Во многих случаях коррозионный отказ водопровода или теплопровода связан с совместным действием процессов наружной и внутренней коррозии. Трубы водоснабжения обычно подвержены наружной коррозии при прямом контакте поверхности трубопровода с грунтом или водой и внутренней коррозии в случае агрессивных коррозионных свойств самой транспортируемой водной среды [1]. Различают коррозионные повреждения: по механизму протекания (химическая и электрохимическая), по условиям протекания (газовая, атмосферная, коррозия в неэлектролитах, электролитах, коррозия

в естественных природных условиях, коррозия внешним током, коррозия под напряжением, радиохимическая, биокоррозия, фреттинг-коррозия, коррозия при кавитации, контактная, щелевая, коррозия при трении), по характеру коррозионного разрушения (сплошную или общую, местную коррозию).

Для определения коррозии и утонения стенок трубопроводных систем предлагается использовать метод акустического неразрушающего контроля – метод свободных колебаний (МСК) [2]. В основе акустического метода неразрушающего контроля [3], основанного на измерении частоты собственных колебаний, положено наличие корреляционных зависимостей между упругими константами материала, из которых изготовлено изделие, и такими физико-механическими свойствами, как твердость, пористость, плотность, прочность и т.п., а также эксплуатационными характеристиками изделий и параметрами их изготовления. Физический процесс, на котором основывается акустический метод диагностики, заключается в том, что коррозионный эффект в виде утонения стенки трубы рассматривается как мембрана, которая в соответствии с фундаментальным решением теории акустики имеет собственную частоту колебаний  $f_0$ . Силовым фактором, инициирующим вынужденные колебания рассматриваемого элемента, является пульсация давления в воде за счет работы насосов, тока воды и т.п. Эти пульсации представлены набором импульсов, имеющих различную частоту ( $f_k$ ). когда частота импульса близка или совпадает с собственной частотой дефекта ( $f_k \sim f_0$ ), возникают резонансные колебания дефекта с излучением различных волн, которые распространяются по металлу трубы и воде. В МСК информативным параметром служит изменение спектра свободных упругих колебаний контролируемых объектов. Спектр является обобщенной характеристикой. Технически проще использовать амплитудно-частотную характеристику спектра, поэтому практически применяется такой способ обработки информации. Преимуществами МСК перед другими низкочастотными методами являются возможность контроля изделий из материалов с малыми модулями Юнга и высокими коэффициентами затухания упругих колебаний и обнаружение дефектов на большей глубине. Каждое изделие, материал имеет свою амплитудно-частотную характеристику. Наличие коррозионных повреждений изменяет толщину и массу поверхностей трубопроводов, а значит, и собственные частоты колебаний. Контролируемые участки трубопроводов сравнивают с эталонным изделием (бездефектное изделие – трубопровод или его часть). Имея «акустический паспорт» изделия, зная текущие частоты колебаний контролируемых поверхностей, можно определить наличие коррозии и утонение стенок [4].



Для сравнения полученных спектров в качестве исходного был взят спектр собственных колебаний бездефектной пластины и использованы следующие характеристики сравнения: корреляция, корреляция Спирмена, знаковые ранги Вилкоксона, статистика знаков Фишера [7]. Эти критерии позволяют анализировать большой диапазон частот.

Использование при диагностике трубопроводов методов неразрушающего контроля позволяет обнаруживать зарождающиеся повреждения и отложения на стенках трубопровода. Своевременное проведение диагностики трубопроводов, устранение повреждений при выявлении дефектов, чистка при выявлении отложений, может предотвратить аварийные ситуации, снизить риск порчи оборудования и трубопроводных систем, т.к. замена трубопроводов представляет собой физически трудоемкий процесс со значительными материальными затратами.

### Источники

1. Чикунова Е.В., Измайлова Е.В. Метод свободных колебаний для определения коррозии в трубопроводных системах / Тинчуринские чтения – 2020 «Энергетика и цифровая трансформация»: матер. Междунар. молод. науч. конф. Казань, 2020. Т. 2. С. 156–159.

2. Reducing labor input of monitoring condition of heat exchange equipment surfaces / I.V. Shvetsov [et al.]. DOI: 10.1088/1757-899X/939/1/012072 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 939.

3. Зиганшин Ш.Г., Ваньков Ю.В., Измайлова Е.В. Контроль технического состояния трубопроводов акустическими методами: моногр. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2015. 160 с.

4. Гарнышова Е.В., Измайлова Е.В. Программа для контроля материалов и изделий методом свободных колебаний / Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: сб. тр. XXVI Междунар. науч.-техн. конф. М., 2020. С. 291–293.

5. Патент на полезную модель РФ № U1, МПК G01B 5/00 Бюл. № 20 от 13.07.2020 г. Устройство для контроля отложений на поверхностях теплообмена: п. м. 198469 Рос. Федерация № 2019137172; заявл. 19.11.2019.; опубл. 13.07.2020, Бюл. № 20.

6. «2RsoundSA»: ПрЭВМ 2019615470 Рос. Федерация № 2019614292; заявл. 16.04.2019; опубл. 26.04.2019.

7. Determination of the sediment thickness on the heat-exchange surfaces by free vibration method / E.V. Izmailova [et al.]. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912405069> // E3S Web of Conf. 2019. Vol. 124.

## ИСПЫТАНИЯ СИЛЬФОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

Ш.Н. Гуломалиев  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
shohrukh.gulomaliev@mail.ru  
Науч. рук. Ю.В. Ваньков

Рассмотрены способы испытания сильфонных элементов для их возможного применения в трубопроводах. Представлены виды деформаций компенсаторов под воздействием нагрузок в трубопроводных системах. Приведены результаты сравнения способов проверки качества сильфонных компенсаторов.

**Ключевые слова:** компенсатор, тепловые сети, сильфон, теплоснабжение, тепловые потери, трубопроводы.

Сильфонный компенсатор – это система, состоящая из сильфона и клапана, способная поглощать или уравнивать относительные перемещения определенной величины и частоты, возникающие в герметически соединенных конструкциях, и проводить в этих условиях пар, жидкость и газы (рис. 1) [1].

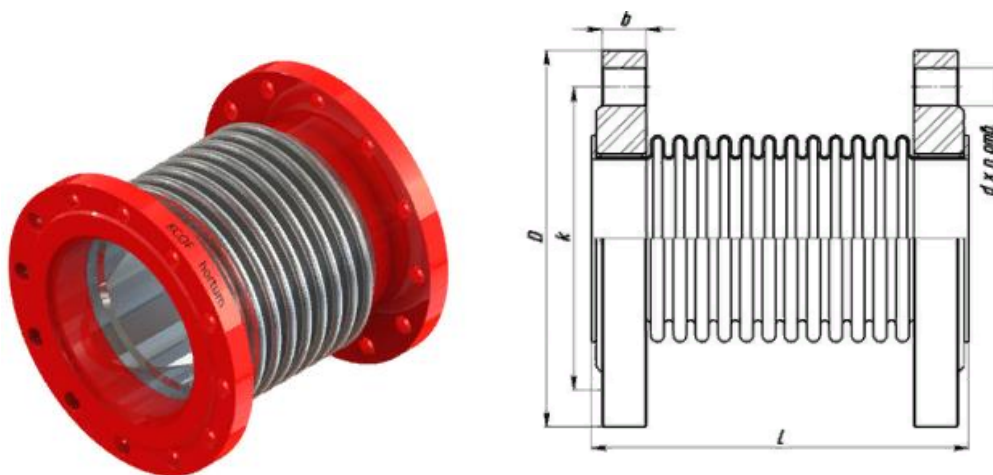


Рис. 1. Сильфонный компенсатор

Суть применения сильфонных компенсаторов заключается в том, что в ходе эксплуатации не требуется вспомогательного оборудования. Использование сильфона подразумевает невозможность его ремонта, так как разрушается молекулярная структура строения данного элемента.

Поэтому необходимо вовремя определять исправность сиффона. На данный момент такая проблема считается довольно актуальной и не до конца изучена. Она решается с помощью установки гибких элементов, которые информируют о разрушении трубопроводных систем, иными словами компенсаторов [2].

Для оценки качества сиффонных компенсаторов применяются следующие виды испытаний:

А. Испытание сиффонных элементов на участках трубопровода. Они считаются источником деформации трубопровода и способствуют изменению температур в окружающей среде, и вызывают колебания нагрузки от оборудования во время транспортировки. Проверка надёжности компенсатора будет идти конкретно на трубопроводе, в котором он был отремонтирован. После таких испытаний сиффонные компенсаторы станут независимой частью трубопроводной системы [2, 4].

На рис. 2 представлены виды деформации сиффонного элемента компенсатора, при воздействии усилий, сопутствующих в трубных системах [2].

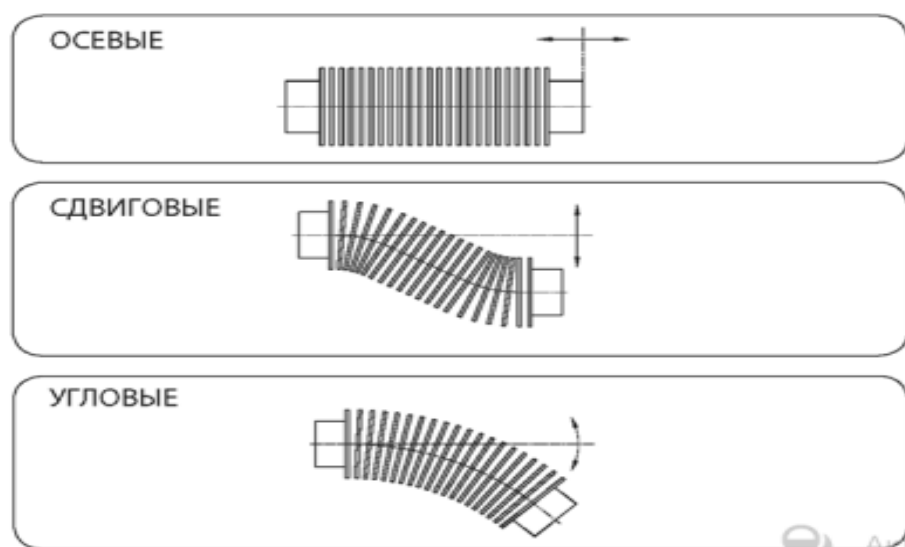


Рис. 2. Группы деформирований сиффона в результате данной усилий разного вида

Осевые, сдвиговые и угловые сиффонные компенсаторы применяются для устранения проблем, связанных с расширением и колебаниями трубопровода [2].

В. Гидравлическое. В испытании используются два сиффонных компенсатора, где один сиффон помещается в другой. Затем два сиффона прикрепляются между подвижной и неподвижной нагрузочными плитами и создается давление в полости между сиффонными компенсаторами.

Во время проведения испытаний на осевую циклическую деформацию сильфонного компенсатора могут возникнуть проблемы, связанные со сложностью монтажа механической части и обеспечения постоянного давления внутри сильфона [3].

Способ испытаний второго сильфонного компенсатора гарантирует низкие усилия от давления испытательной среды, и такой способ является полезным для проведения правильных циклических тестирований сильфонных компенсаторов любых диаметров под воздействием рабочего давления воды или воздуха [3].

Методика данного способа вызывает тенденцию к самоуспокоению давления внутри сильфона и информирует от появления ошибок при отсутствии жестких направляющих. Наличие дифференциального давления вызывает перемещение, а показатель допустимого отклонения давления по ГОСТ 28697-90 варьируется  $\pm 5\%$ . Предлагаемый метод обеспечивает нахождение этого показателя в допустимом отклонении при следующем равенстве:

$$F_{сж} + F_{раст} = P_{д}s + Mg,$$

где  $F_{сж}$  – усилие, необходимое для осевого сжатия сильфона;  $F_{раст}$  – усилие, необходимое для осевого растяжения сильфона;  $s$  – площадь поперечного сечения сильфона;  $P_{д}$  – дифференциальное давление между сильфонами, не превышающее  $\pm 5\%$ , от испытательного;  $M$  – масса верхнего сильфона с водой;  $g$  – ускорение свободного падения [3].

Соответственно, чем больше диаметр сильфона, тем меньшее давление  $P_{д}$  необходимо для перемещения. И отклонение, которое регламентируется по ГОСТ 28697-90, компенсируется усилиями к подвижным торцам сильфонов [3–5].

**Заключение.** Испытание сильфонных элементов  $A$  считается правильным и экономичным в плане низких распределенных усилий. Сильфонные компенсаторы, работающие на загруженные плиты, позволяют проводить циклические испытания под постоянным давлением и применять недорогое и простое оборудование.

В свою очередь применение гидравлического испытания  $B$  не требует дополнительного обслуживания в процессе эксплуатации. Срок их эксплуатации характеризуется временем безремонтной работы трубопроводов. Необходимо с определенной периодичностью проводить проверки состояния сильфонных компенсаторов и выполнять достоверные испытания.

## Источники

1. СНИП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика. М.: Стройиздат, 1983. 125 с.
2. Ковалев В.И. Сильфонные металлические компенсаторы. М., 2008. 63 с.
3. Виноградова А.С., Сибилев М.Г., Жилина Т.С. Применение сильфонных компенсаторов на трубопроводах при обустройстве кустов скважин // Молодой ученый. 2017. № 7. С. 40–46.
4. Способ испытания сильфонных компенсаторов на вероятность безотказной работы: пат. 2599550 Рос. Федерация № 2012148801/06; заявл. 08.01.2012; опуб. 10.10.2016, Бюл. № 28
5. ГОСТ 28697-90 Программа и методика испытаний сильфонных компенсаторов и уплотнений. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2005. 34 с.

УДК 621.182

## АНАЛИЗ ТЕПЛОИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭЛЕМЕНТАХ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОТ БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ КОТЕЛЬНОЙ С УСТАНОВЛЕННОЙ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТЬЮ 16 МВт

Е.Б. Данов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

mazanna1975@yandex.ru

Науч. рук. Р.Н. Валиев

Рассматривается анализ состояние оборудования БМК с установленной мощностью 16 МВт, а также возможные варианты повышения эффективности котельной, тепловых сетей, абонентских вводов и обогреваемых зданий, и сооружений, теплотехнологических процессов. Рассмотрены возможные перспективы развития систем теплоснабжения от БМК с установленной мощностью 16 МВт.

**Ключевые слова:** Блочно-модульная котельная, системы теплоснабжения, тепловые сети, абонентский ввод.

Блочно-модульные котельные (БМК) – это котельные модули, выполненные в полной заводской готовности, предназначены для отопления и горячего водоснабжения объектов производственного, социального и жилищного назначения [1].



При первоначальном пуске данной БМК на основании проекта планировалось определённое количество потребителей, согласно проектной схемы, но связи с увеличением объемов производительности месторождения произошло увеличение потребителей от БМК, на основании этого теплофикационные насосы, установленные на данной котельной, не соответствуют производительности на данный рабочий момент. На сегодняшний день общее количество потребителей от данной котельной составляют 54 объекта в состав которых входят объекты производственного, социального и жилищного назначения.

В связи с высоким возрастом объектов, отапливаемых от данной котельной, эти объекты имеют устаревшие неавтоматизированные ИТП, что ухудшает гидравлический режим системы теплоснабжения от БМК.

В недалеком будущем планируется прирост дополнительных потребителей от данной системы теплоснабжения.

При выполнении последних режимно-наладочных испытаниях в 2018 г., котлов БМК КПД составило 92 %.

Согласно ранее выполненным расчетам ежегодная выработка тепловой энергии котельной 16 МВт составляет 15 327,31 Гкал в год, когда ежегодное потребление тепловой энергии объектами от данной котельной составляет 12 554,12 Гкал в год. Расчетная тепловая нагрузка на отопление составляет 2,5559 Гкал в час. Расчетная тепловая нагрузка на вентиляцию составляет 0,9772 Гкал в час. Расчетная тепловая нагрузка на тепловые завесы составляет 2,9050 Гкал в час. Расчетная тепловая нагрузка на горячее водоснабжение составляет 0,0790 Гкал в час.

На основании вышеизложенных цифр возможно понять, что производительность котельной является достаточной для такого количества потребителей и имеется определенный запас мощности.

Единственными минусами в работе данной системы теплоснабжения является:

- устаревшее насосное оборудование, установленное на БМК;
- отсутствие автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов;
- неотлаженно работа гидравлического режима системы теплоснабжения;
- плохое состояние тепловой изоляции трубопроводов тепловой сети.

В связи с этим предлагаются следующие возможные варианты стратегий для создания нормального технологического режима БМК:

- замена теплофикационных насосов, установленных на БМК;
- модернизация индивидуальных тепловых пунктов потребителей;

- наладка гидравлического режима тепловой сети путем установки балансировочных кранов;
- восстановление тепловой изоляции на трубопроводах тепловой сети что значительно уменьшит тепловые потери.

В данной статье рассмотрим следующие мероприятия:

- 1) наладку тепловых сетей путем установки дроссельных шайб;
- 2) наладку гидравлического режима тепловой сети путем установки балансировочных кранов [2].

В первом случае, для выполнения правильной наладки тепловых сетей выполним следующие этапы: разработка актуальных схем БМК и наружных тепловых сетей, а также тепловых пунктов потребителей, в случае если в производственных объектах установлены калориферные или другие теплопотребляющие установки необходимо обязательно заносить их в схемы [3].

Во втором случае, на основании полученных данных проведем выполним необходимые мероприятия для осуществления дальнейшей наладки тепловых сетей.

Далее начинается регулировка систем по фактическому ее состоянию после проведения работ.

К регулировке системы централизованного теплоснабжения приступают после выполнения всех мероприятий для наладки. Попытка отрегулировать систему теплоснабжения до полного внедрения всех мероприятий, как правило, не дает положительных результатов.

Далее проанализируем способ наладки тепловых сетей за счёт балансировочных кранов.

Для выполнения задачи гидравлической балансировки тепловой сети при изменчивых расходах предполагается применять автоматические балансировочные клапаны, устанавливаемые на ответвлениях от магистральной тепловой сети, взятых с учетом присоединенных тепловых нагрузок и действующего перепада давления.

Автоматический балансировочный клапан – это регулирующий клапан со встроенным регулятором перепада давления, связывающий в себе две функции регулирование расхода и поддержания заданного перепада давления.

Регулятор перепада давления поддерживает постоянный перепад на регулирующем клапане вне зависимости от изменения параметров в системе, что приводит к ограничению расхода теплоносителя.

Данный вариант регулирования имеет низкую рыночную стоимость. При установке балансировочных клапанов уменьшатся тепловые потери.

В результате реализации данных проектов позволит:

- выполнить автоматическую балансировку гидравлического режима теплосети;
- снизить затраты на топливо;
- понизить потери тепловой энергии;
- понизить расход электроэнергии на передачу теплоносителя;
- выполнить рациональную нагрузку систем теплоснабжения.

### **Источники**

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. пособие. М.: Изд-во МЭИ, 2001. Ч. 1. 132 с.

2. Ляликов Б.А. Источники и системы теплоснабжения промышленных предприятий: учеб. пособие. 2-е изд., стер. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. Ч. 1. 155с.

3. Ляликов Б.А. Источники и системы теплоснабжения промышленных предприятий: учеб. пособие. 2-е изд., стер. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. Ч. 2. 172 с.

УДК 621.577

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОВОГО НАСОСА**

Р.Р. Даутов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

gluza.dautova@yandex.ru

Науч. рук. А.Е. Кондратьев

Рассмотрены особенности использования тепловых насосов для систем теплоснабжения жилых зданий, а также наиболее энергоэффективный источник низкопотенциальной тепловой энергии.

**Ключевые слова:** тепловой насос, низкопотенциальный источник, система теплоснабжения, геотермальная энергия.

Освоение нетрадиционных возобновляемых источников энергии является важным направлением в энергосбережении. Из преимуществ систем теплоснабжения, использующих альтернативные источники, можно

выделить не только нескончаемые запасы, но также и отсутствие вреда на экологию. Одним из самых перспективных технологий в практическом применении являются тепловые насосы, использующие теплоту низкотемпературных потенциалов природных или искусственных источников [1].

Тепловой насос – это устройство, которое берет тепловую энергию от низкопотенциального источника с низкой температурой и переносит его в здание с более высокой температурой. Конструктивно тепловой насос состоит из системы трёх замкнутых контуров. В первом контуре циркулирует теплоноситель, который переносит энергию от источника теплоты низкого потенциала. Во втором движется хладагент – специальная жидкость, которая после испарителя переходит в газообразное состояние, при этом отбирается тепло у первого контура, и переходит уже в жидкую фазу в конденсаторе, отдавая тепло непосредственно в систему отопления и горячего водоснабжения, т.е. в третий контур. Повышение начальных параметров хладагента осуществляется в компрессоре, а сбрасывание давления – в дроссельном клапане [2].

Теплонасосная установка для получения тепловой энергии в системах отопления и горячего водоснабжения состоит из: теплового насоса, аккумуляторов подогретой воды, систем извлечения и сбора тепловой энергии из низкопотенциального источника, циркуляционные и подпиточные насосы, регулирующая и измеряющая аппаратура [3].

Тепловой насос может работать в двух режимах: при моновалентном режиме работы он может обеспечить полную тепловую нагрузку здания; если же мощности для ее покрытия не хватит, то всю нагрузку берет на себя вспомогательный теплогенератор – бивалентный режим. Обычно это твердотопливный, либо электрический котел. Наиболее целесообразным вариантом является бивалентный режим, так как при нем, по сравнению с традиционной системой отопления, затраты на обеспечение теплом здания в целом снижаются. Теплонасосное оборудование эффективно снабжает тепловой энергией дом, а отопительная система работает в более экономичных режимах.

В роли низкопотенциальных источников тепловой энергии могут выступать наружный воздух, грунт, подземные воды, водоемы, а также канализационные стоки, вентиляционные выбросы и т.д. [4].

В системах теплоснабжения наилучшим решением является использование геотермальных тепловых насосов, т.е. тепло низкого потенциала грунта и подземной воды. В первом случае температура

в районе зондов с каждым годом уменьшается, кроме этого верхние слои почвы в зимнее время могут и вовсе промерзнуть. У грунтовой воды, в отличие от других низкопотенциальных источников, температура не зависит от климатических условий. Она остается стабильной в течение года. В следствие с этим данные тепловые насосы имеют самый высокий коэффициент преобразования – COP, который показывает сколько тепла при заданных условиях производится при затратах электрической энергии. Численно для геотермальных тепловых насосов он может достигать максимум от 4,5 до 5 [5].

Несмотря на большие капитальные вложения с земельными работами (бурение и прокладка вертикальных скважин или горизонтальных коллекторов), если рассматривать данную установку для системы теплоснабжения в качестве долгосрочной перспективы, она окупится со временем. Помимо теплоснабжения, с помощью тех же скважин и вертикальных зондов, грунтовый тепловой насос также поможет решить вопрос с непосредственным водоснабжением жилого здания.

### **Источники**

1. Гатауллина И.М. Технология устройства снегоплавильных станций на основе применения тепловых насосов // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России: матер. V Всерос. студ. форума. 2019. Ч. 1. С. 38–41.

2. Гатауллина И.М. Построение системы теплоснабжения на основе теплового насоса // Тинчуринские чтения – 2018: тез. докл. XIII молод. науч. конф. / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова. Казань, 2018. С. 160–162.

3. Кобылкин, М.В., Риккер Ю.О., Батухтин А.Г. Тепловые насосы в системах комбинированной выработки теплоты и электрической энергии. Предел неэффективности // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: матер. XV Междунар. науч.-практ. конф. Чита, 2017. С. 132–138.

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

5. Даутов Р.Р. Перспективы применения тепловых насосов // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России: матер. VI Всерос. студ. форум. 2020. № 5. С. 107–108.

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ СЕТЕЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ПЕРЕХОДА К ИНДИВИДУАЛЬНЫМ ТЕПЛОВЫМ ПУНКТАМ В ГОРОДЕ КАЗАНЬ

Р.В. Захватов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
romanzaxvatov@gmail.com  
Науч. рук. Р.Н. Валиев

Рассмотрены проблемы систем централизованного теплоснабжения в городе Казань и перспективы применения тепловых пунктов. Представлены промежуточные итоги реализации программы города по замене морально и физически «уставшего» оборудования центральных тепловых пунктов (ЦТП) и распределительных четырехтрубных тепловых сетей на индивидуальные тепловые пункты (ИТП) с двухтрубными распределительными тепловыми сетями.

**Ключевые слова:** теплоснабжение, горячая вода, ИТП, отопление, тепловые пункты, сети, ЦТП.

До сегодняшнего дня в Казани до сих пор преимущественно использовались устаревшие системы централизованного теплоснабжения, спроектированные и введенные в эксплуатацию еще в советское время. Системы такого типа сильно устарели и имеют множество недостатков, такие как: большие потери тепловой энергии при подаче отопления и горячей воды конечному потребителю, невозможность эффективного регулирования, что приводит к долгому сливу воды, а значит – повышенные расходы жильцов на оплату ГВС. Также, данные системы имеют высокий износ оборудования, который составляет порядка 80 % [2].

Актуальным решением данных проблем является массовый переход от центральных тепловых пунктов (ЦТП) к индивидуальным тепловым пунктам (ИТП), который обслуживает одного потребителя (здание) и располагается в подвальном или техническом помещении здания.

Тепловой пункт является узлом управления местных систем. В нем происходит учет расхода тепла и распределение теплоносителя по отдельным системам отопления, горячего водоснабжения и вентиляции, а также их регулировка и отключение.

ИТП полностью автоматизированы, благодаря чему возможно точное регулирование и поддержание предусмотренного экономичного режима. Они кажутся более эффективными с точки зрения экономии тепловой энергии, требуют меньше капиталовложений и снижают эксплуатационные затраты [3].

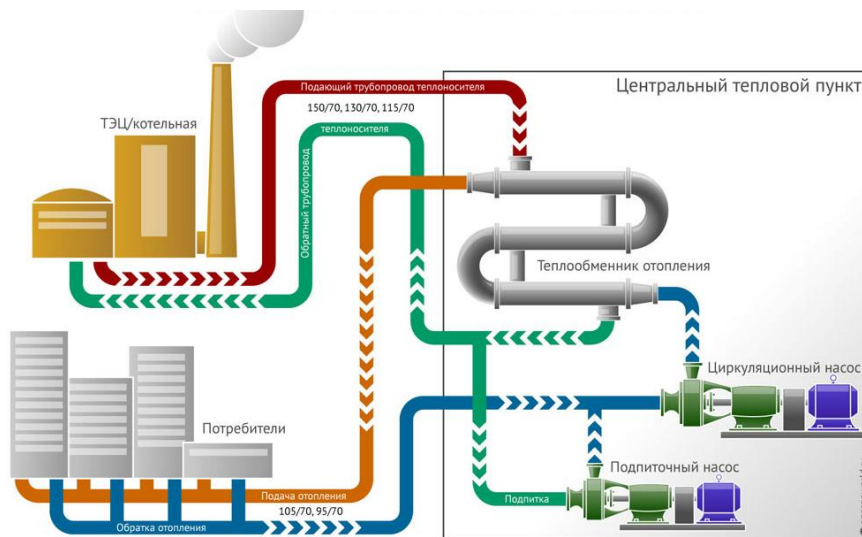


Рис. 1. Схема подключения потребителей через ЦТП

При наличии ЦТП узлы управления системы отопления и вентиляции сооружаются в каждом здании. Тепловая нагрузка жилых и других зданий в городском микрорайоне, объединяемых ЦТП, обычно составляет от 2 до 8 Гкал/ч. В здании теплового пункта расположены приборы учета тепловой энергии, и приборы контроля (манометры, термометры), водоподогреватели, циркуляционно-повысительные насосы горячего водоснабжения, системы водоподготовки и деаэрации воды [3].

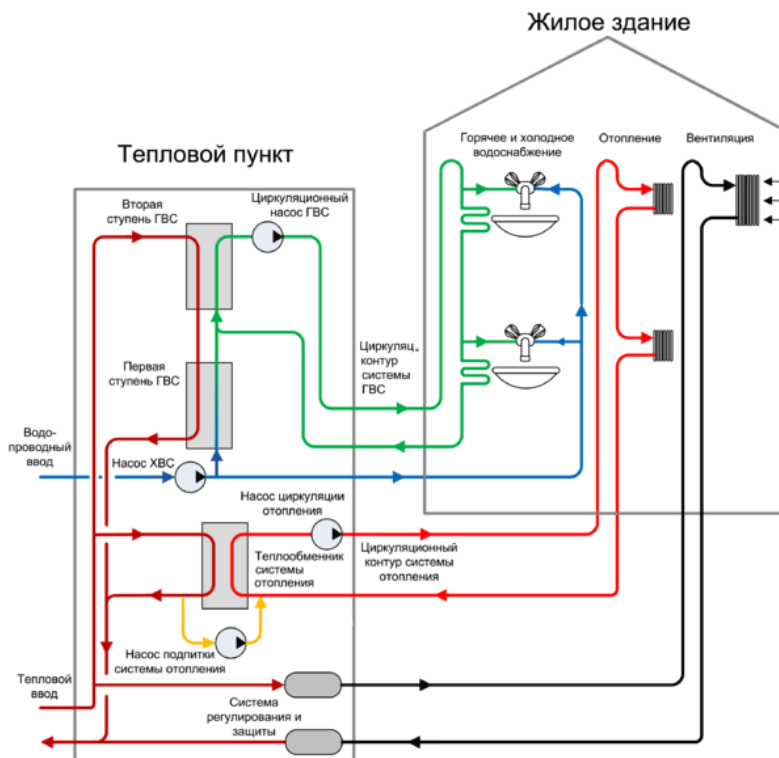


Рис. 2. Схема подключения потребителей через ИТП

Современные решения позволяют подключать каждое здание напрямую к источнику тепла, минуя центральные тепловые пункты (ЦТП). Данная схема на рисунке 2 дает возможность в случае аварии или ремонта трубопровода отключать от системы только одного потребителя, а не всю группу, одновременно лишая отопления или горячей воды множество потребителей [5]. Благодаря своей компактности ИТП, как правило, размещаются в подвальном или техническом помещении здания.

Индивидуальный тепловой пункт рассчитан на обслуживание только одного объекта, что положительно отражается на эффективности работы. Но это не единственное отличие между ИТП и ЦТП. Внедрение индивидуальных тепловых пунктов имеет ряд преимуществ:

- отказ от распределительных сетей ГВС с соответствующим сокращением расходов и тепловых потерь;
- ИТП обеспечивает более качественное теплоснабжение объекта;
- снижение расхода топлива на выработку тепловой энергии;
- снижение расхода электроэнергии;
- уровень безопасности при эксплуатации ИТП выше, чем при использовании ЦТП;
- повышение надежности функционирования энергосистемы за счет снижения количества плановых и аварийных отключений;
- повышение качества горячей воды в жилых домах [4].

Компанией АО «Татэнерго» проводится программа по переходу к ИТП. В результате данной программы была осуществлена установка ИТП на 1 300 объектах, выведено из эксплуатации 101 ЦТП и 206 километров изношенных сетей ГВС. Переход от ЦТП к ИТП позволил снизить потери тепловой энергии в тепловых сетях с 16 до 14 %, а также снизить эксплуатационные затраты – 260 млн руб. в год. Реконструкция существующих сетей ЦТП и сетей ГВС потребовала бы значительных затрат, которые могли составить 4,2 млрд руб. Установка ИТП позволила сократить затраты, которые составили 1,1 млрд руб. [1].

### **Источники**

1. «Модернизация системы горячего водоснабжения г. Казани» [Электронный ресурс]. URL: <http://tatgencom.ru/upload/iblock/617/prezentatsiya-itp.pdf> (дата обращения: 04.03.2021).

2. Хасанов Г.М., Залялова А.Р., Ахмерова Г.М. Внедрение ИТП как вариант решения проблемы изношенности системы теплоснабжения // Тенденции развития науки и образования. 2017. № 27-1. С. 40–41.



3. Гаджиева К.А., Шувалова Д.Г. Повышение энергоэффективности системы теплоснабжения за счет перехода от центральных тепловых пунктов (ЦТП) к индивидуальным (ИТП) // Science Time. 2017. № 3 (39). С. 137–141.

4. «Услуги технического обслуживания центральных тепловых пунктов» [Электронный ресурс]. URL: <https://climatstar.ru/articles/uslugi-tekhnicheskogo-obsluzhivaniya-tsentralnykh-teplovykh-punktov/> (дата обращения: 04.03.2021).

5. «Индивидуальный тепловой пункт для многоквартирного дома: схемы и решения» [Электронный ресурс]. URL: <https://aw-therm.com.ua/individualnyj-teplovoy-punkt-shemy-i-resheniya/> (дата обращения: 05.03.2021).

УДК 620.98

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Р.В. Ившин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

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

Науч. рук. Э.А. Ахметов

Посвящается исследованию по внедрению систем регулирования способствующих оптимизации работы котельной.

**Ключевые слова:** энергосбережение, энергосберегающие мероприятия, оптимизация, экономия ТЭР, энергоэффективность, котельная.

Каждый год тепловая нагрузка меняется от летнего минимума, состоящего только из потребления горячей воды, до зимнего максимума в который добавляются нагрузки на отопление, вентиляцию и потребление горячей воды [4]. В связи с этим происходит неравномерное потребление теплоносителя в зависимости от времени года, что крайне негативно сказывается на системе в целом. Для поддержания требуемого давления в тепловой сети, применяется регулирование расхода теплоносителя.

Для регулирования отпуска теплоносителя в тепловую сеть можно использовать несколько способов:

– регулирование потока горячей воды при помощи ручных и электро-механических задвижек – дросселирование, уменьшая степень открытия задвижки, происходит уменьшение подачи насоса, напор перед задвижкой увеличивается, а после задвижки уменьшается из-за потери напора на запорной арматуре. Открывая задвижку, увеличивается подача, напор создаваемый насосом уменьшается, а напор за задвижкой увеличивается [1]. Данный способ крайне неэкономичный, так как значительная часть энергии теряется на сопротивлении запорной арматуры;

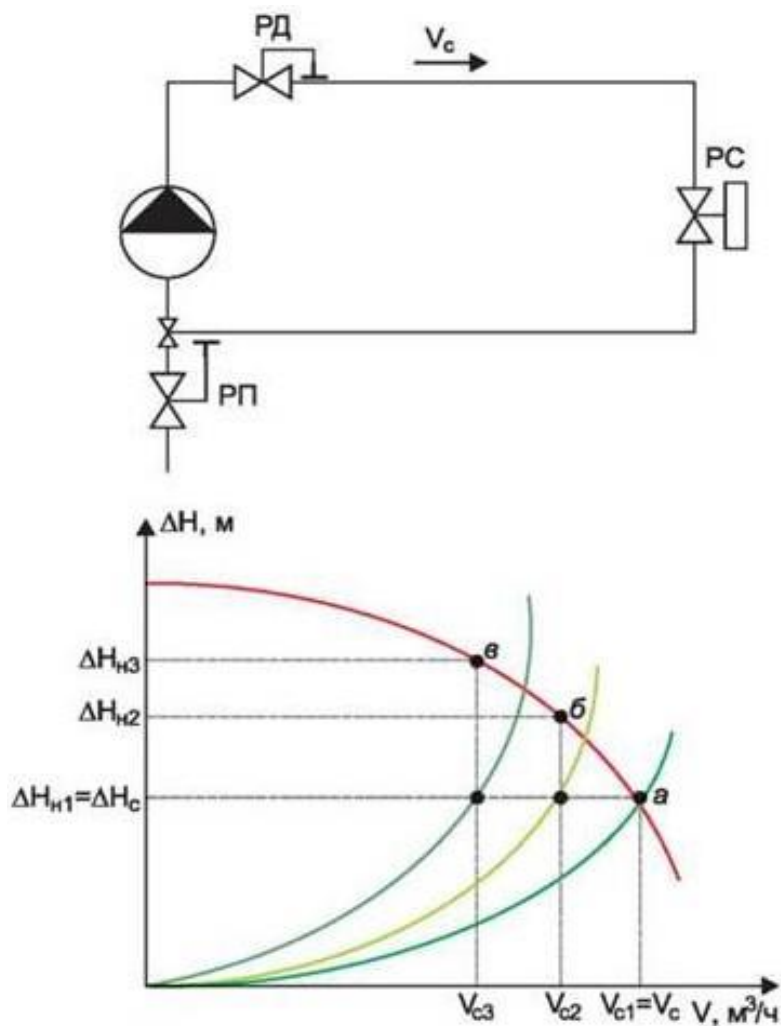


Рис. 1. Дросселирование

– регулирование потока теплоносителя с применением частотно-регулируемого электропривода. При таком регулировании в результате снижения частоты вращения, кривая напорно-расходной характеристики насоса смещается вниз. Подача, напор насоса и напор в трубопроводе одновременно уменьшаются. При увеличении частоты вращения насоса, увеличивается подача и напор насоса, и напор в сети.

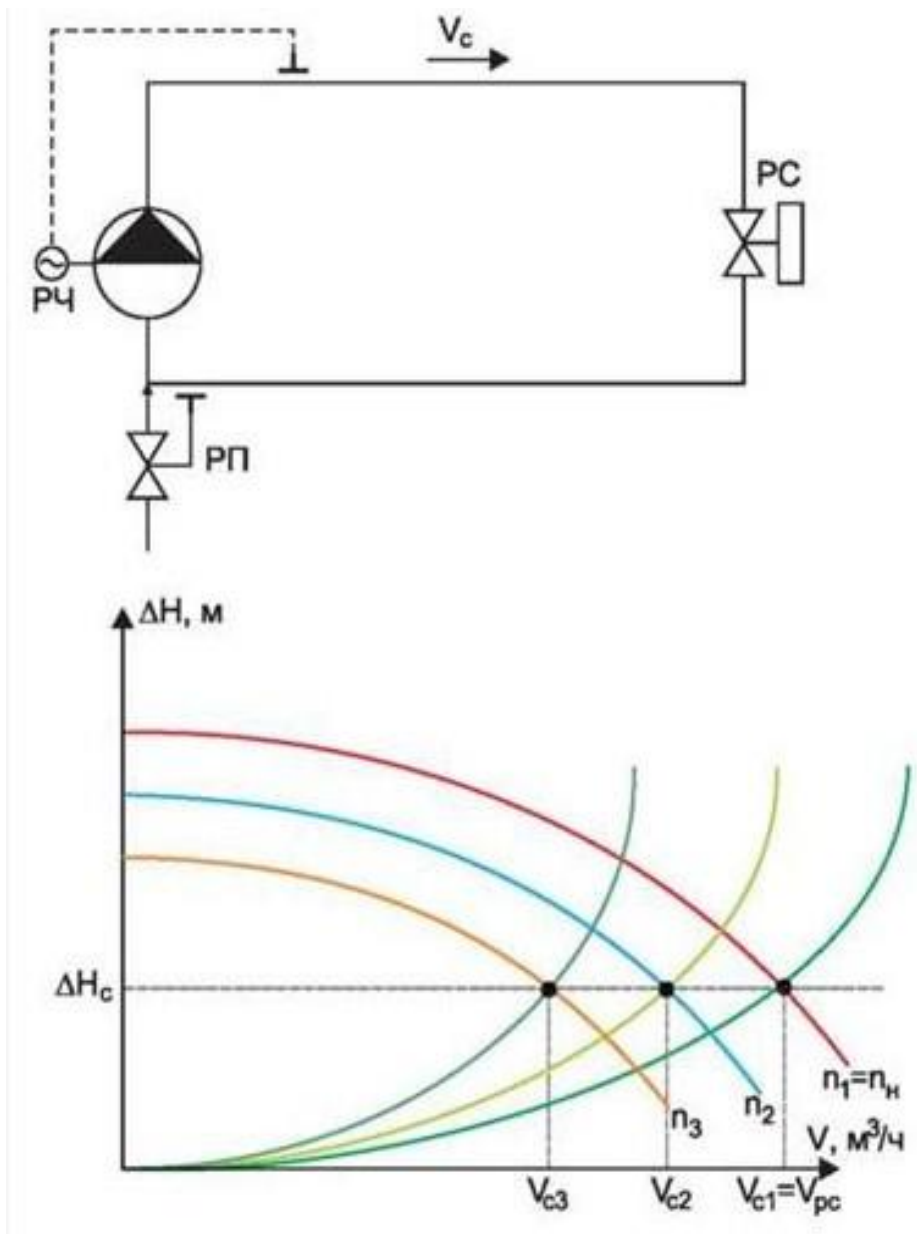


Рис. 2. Регулирование ЧРП

В настоящее время регулирование с применением ручных и электро-механических задвижек является наиболее распространенным на тепло-электроцентралях. При таком регулировании количество выделяемого в тепловую сеть теплоносителя, изменяется путем изменения угла открывания задвижки.

При использовании частотно-регулируемого привода (ЧРП) количество выделяемого в тепловую сеть теплоносителя меняется путем изменения частоты вращения ротора электродвигателя. Применение ЧРП гораздо более выгодно, по сравнению с применением задвижек, так как помимо регулирования потока теплоносителя достигается также экономия электроэнергии, подведенной к электродвигателю [3].

Суть работы частотного преобразователя строится на плавном бесступенчатом регулировании скорости вращения вала двигателя, подающего нагрузку на объединенные с ним механизмы. Наиболее часто используют преобразователи для однофазных двигателей, применяемых в насосах и работающих по принципу переменного вращающего момента.

Кроме того, современные частотные устройства способны не только выполнять функцию управления, но и ряд других задач, в том числе и защитных, влияющих на эффективность работы насосного оборудования:

- защищают насосы и электродвигатели от перегрузок;
- выполняют защиту от перепадов напряжения;
- предотвращают возможность возникновения коротких замыканий;
- предотвращают перегрев двигателя насосного устройства;
- предотвращают возникновение гидроударов в системе;
- одинаково эффективное управление при использовании нескольких насосов;
- максимально облегчают эксплуатацию насосных станций, проведение ремонтных операций, исключая существенные потери в водоснабжении.

Выбор частотных преобразователей для насосного оборудования делается по нескольким основным типам приводного электродвигателя, число фаз и тип электродвигателя должны соответствовать параметрам частотного преобразователя. Для привода насосных агрегатов применяются синхронные и асинхронные одно- или трехфазные электрические машины. Нельзя также забывать про ток, напряжение и мощность. Номинальные электрические характеристики электродвигателя и преобразователя частоты должны совпадать. Рекомендуемый запас мощности ЧРП – 15...20 %. По числу аналоговых и релейных входов, в зависимости от числа датчиков, необходимо подобрать частотный преобразователь с соответствующим количеством входов. По функциям которые частотный преобразователь может в себе совмещать: устройства плавного пуска, ПИД-регулятора, устройств защиты и т. д. Функционал устройства выбирают в соответствии с требованиями к системе отопления и водоснабжения.

Использование частотных преобразователей снижает потери давления, оптимизирует потребление воды и электроэнергии, а также снижает вероятность аварий.

Применение ЧРП дает положительный экономический и технический эффект, особенно заметный на примере крупных систем подачи тепла и водоснабжения.

Внедрение данного метода позволит оптимизировать работу котельной и снизить как затраты, так и повышенный износ оборудования [2].

## Источники

1. Решетникова М.О. Сборник энергосберегающих мероприятий. Практическое руководство. М.: ИНФРА-М, 2015. 448 с.
2. Пилипенко Н.В. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности инженерных систем и сетей: учеб. пособие. СПб.: ИТМО, 2016. 271 с.
3. Ушаков В.Я. Потенциал энергосбережения и его реализация на предприятиях: учеб. пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. 283 с.
4. Частотно-регулируемый привод. Регулирование центробежных насосов и методы регулирования отпуска тепла в тепловых сетях [Электронный ресурс] / С.А. Байбаков [и др.] // Новости теплоснабжения. 2014. № 1 (161). URL: [www.ntsnn.ru/o-zhurnale/archiv/2014/1\\_2014.html](http://www.ntsnn.ru/o-zhurnale/archiv/2014/1_2014.html) (дата обращения: 27.01.2021).

УДК 621.4

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА В ЭНЕРГЕТИКЕ

С.А. Казаков  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
kaczakov@yandex.ru  
Науч. рук. А.Е. Кондратьев

В настоящее время энергетика, как отрасль, постоянно совершенствуется с целью энергосбережения. Для этого из-за ограниченности топливных ресурсов необходимо переходить от традиционных источников энергии к нетрадиционным, либо повышать энергоэффективность уже существующих объектов энергетики. Одним из устройств, повышающих энергоэффективность, можно отнести изобретение Роберта Стирлинга –двигатель с внешним подводом теплоты (Двигатель Стирлинга).

**Ключевые слова:** Двигатель Стирлинга, ближний космос, применение двигателя Стирлинга в энергетике.

Двигатель Стирлинга (ДС) – это устройство, преобразующее тепловую энергию в механическую, где в отличие от привычного нам двигателя внутреннего сгорания, вал вращается не за счет расширения газов при сгорании топлива в цилиндре, а за счет воздействия внешних температур [1].

Общий принцип действия двигателя Стирлинга состоит в следующем. Существует цилиндр, в котором находится поршень. Между цилиндром и поршнем имеется небольшой зазор для стравливания излишков воздуха во второй цилиндр. Во втором цилиндре также находится поршень и также имеются зазоры между цилиндром и поршнем. Оба поршня связаны при помощи сложной кинематической связи с валом так, чтобы первый поршень провернул вал на некоторую часть, а второй поршень провернул его дальше по ходу движения в исходное положение, тем самым вернув и первый поршень в исходное положение. Далее цикл продолжается. Первый поршень приводится в движение за счет нагрева воздуха в камере. Второй – за счет охлаждения воздуха пришедшего из первого цилиндра через зазоры.

Двигатель Стирлинга нашел свое применение в различных областях:

1) при помощи двигателя Стирлинга конструкторы подводных аппаратов увеличили время нахождения под водой;

2) на атомных электростанциях в ядерных реакторах двигателем Стирлинга могут быть заменены паровые турбины для повышения эффективности работы станции и уменьшения количества радиоактивных побочных продуктов;

3) на ТЭЦ можно использовать отработанное после когенерационной установки тепло на промышленные нужды;

4) для выработки энергии в ближнем космосе [2, 3].

На данный момент рядом компаний, работающих в теплоэнергетической отрасли, проводят исследования по разработке микро-ТЭЦ, работающих на Двигателе Стирлинга. В этом случае ожидается существенная экономия денежных средств за счет отсутствия привязанности к розничным ценам за электричество, необходим лишь подвод газообразного топлива. Особо необходимо отметить, что шум, издающий такой установкой, при пиковом режиме составляет всего 46 Дб, что сопоставимо с шумом от дождя на улице [4].

В заключение можно сделать следующий вывод, что применение Двигателя Стирлинга имеет перспективное направление в области энергетики [5].

## **Источники**

1. Хафизов Р.Г., Кондратьев А.Е. Варианты конструкции двигателя Стирлинга и особенности их применения // Научному прогрессу – творчество молодых: матер. X Междунар. молод. науч. конф. по естественным и техническим дисциплинам. Йошкар-Ола, 2015. С. 24.

2. Хафизов Р.Г. Энергетическая установка в ближнем космосе на основе двигателя Стирлинга // Тинчурунские чтения – 2018: матер. XIII Междунар. молод. науч. конф. Казань, 2018. Т. 2. С. 217–219.

3. Юсупов И.Ф. Анализ энергетической возможности двигателя Стирлинга в ближнем космосе // Научному прогрессу – творчество молодых. 2018. № 2. С. 166–168.

4. Двигатель Стирлинга: п. м. 168511 Рос. Федерация № 2016109569; заявл. 16.03.2016; опубл. 07.02.2021, Бюл. № 4.

5. Алиев И.Н., Копылов И.С., Коршунов В.М. Двигатель Стирлинга: метод. указания. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 23 с.

УДК 697.31

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Г.Д. Казакова, С.О. Гапоненко  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
galykazakova@yandex.ru

Действующие ТЭЦ выполняют огромную роль в становлении и развитии энергосистем, однако, в настоящее время значительная часть их оборудования нуждается в демонтаже, модернизации или замене более прогрессивным оборудованием. Экономическая эффективность дальнейшего использования накопленного потенциала их мощностей сильно зависит от факторов темпа роста электро- и теплопотребления, а также «старения» мощности ТЭЦ в этих регионах. При этом эффективность теплофикации в локальном и системном уровнях сильно зависит от таких внешних факторов, как цены на топливо, технико-экономические показатели всех типов действующих и новых источников производства и транспорта тепловой и электрической энергии, а также величины платы за выбросы CO<sub>2</sub>. Принцип минимизации энергетических затрат в развитых странах становится адекватным средством выхода в инновационную перспективу развития теплоснабжения.

**Ключевые слова:** технико-экономические показатели, энергосбережение, технологический цикл.

Рассмотрены некоторые мероприятия, позволяющие обеспечить повышение энергетической эффективности системы, рассмотреть возможность практического улучшения работы оборудования в целом для производства и потребления энергии и тепла.

1. Энергетическая эффективность внедрения теплонасосных установок в технологический цикл ТЭЦ [1–3].

Одним из эффективных мероприятий по экономии топлива и воды, а также по защите окружающей среды от тепловых выбросов является применение теплонасосных установок (ТНУ), преобразующих природную низкопотенциальную теплоту и тепловые отходы в теплоту, пригодную, в частности, для теплоснабжения [5].

Для снижения водопотребления и, соответственно, себестоимости вырабатываемой энергии на мини-ТЭЦ целесообразно использовать систему оборотного водоснабжения с установкой ТНУ.

Использование ТНУ на мини-ТЭЦ позволит значительно уменьшить вредное воздействие на окружающую среду.

2. Эффективность применения частотно-регулируемого электропривода для циркуляционных насосов ТЭЦ.

Данное техническое мероприятие позволяет автоматизировать регулирование производительности насосов и мощности электродвигателей, а также создает хорошие предпосылки для существенной экономии электроэнергии в системе собственных нужд ТЭЦ.

3. Замена редуциционно-охладительной установки (РОУ) на энергосберегающую турбину.

Энергосберегающую паровую турбину возможно установить для выработки электроэнергии и привода вспомогательных механизмов (компрессоры, насосы, вентиляторы и т. д.) за счет использования неостребованного пара промышленно-отопительных котельных, теряемого в процессе дросселирования на редуциционных установках до требуемых параметров.

4. Применение воздушных конденсационных установок на паровых турбинах ТЭС.

Воздушно-конденсационные установки устанавливаются на агрегатах большой мощности в качестве обоснованной и перспективной альтернативы использования конденсаторов с водяным охлаждением. Расположение электростанций с воздушными конденсационными установками не зависит от источника водоснабжения, что также является существенным преимуществом этого оборудования [4].

5. Реконструкция горелочных устройств.

Замена стандартных газовых горелок на современные, использующие струйно-нишевую технологию сжигания топлива. Установка этих горелочных устройств позволит более качественно подготавливать топливную смесь (природный газ-воздух), а также расширить диапазон регулирования котлоагрегатов.



Дополнительный эффект может быть достигнут за счет установки автоматизированной запорной арматуры на газопроводе и ЧРП на дутьевом вентиляторе и дымососе.

#### 6. Установка электромембран на ТЭЦ при водоподготовке.

Водоподготовка воды на ТЭЦ – один самых главных составляющих производственного процесса, от которого зависит качество хорошего пара, а значит и электричества в нужном объеме. Электромембранные модули, позволяют выделить ценные компоненты, содержащиеся в продувочной воде испарителей, с последующим их возвратом в производственный цикл станции. Внедрение современных технологий позволит снизить себестоимость обессоленной воды, сократить потребление исходной воды, химических реагентов и создать замкнутый цикл водопотребления с полным исключением стоков.

Таким образом, для совершенствования структуры и технологий работы ТЭЦ и городских теплофикационных систем, начиная от теплоисточника и заканчивая теплоэнергетическими установками потребителей, необходимо комплексно рассматривать мероприятия, направленные на повышение энергетической эффективности, качества, надежности и экономичности теплоснабжения городов.

### Источники

1. Орлов М.Е. Повышение эффективности ТЭЦ и подключенных к ним городских теплофикационных систем за счет структурно-технологической модернизации: дис. ... д-ра техн. наук. Ульяновск, 2017. 337 с.

2. Колосов М.В. Повышение эффективности систем централизованного теплоснабжения: автореф. ... дис. канд. техн. наук. Красноярск, 2011. 19 с.

3. Скрипник А.Е., Безруков Р.Е. Оптимизация технологии выработки электроэнергии и теплоты на ТЭС // Меридиан. 2020. № 6 (40). С. 276–278.

4. Сайтов С.Р., Кириллова Н.А. Повышение энергоэффективности теплофикационных установок ТЭЦ с блоками ПГУ // Электроэнергетика глазами молодежи – 2019: матер. X Междунар. науч.-техн. конф. Иркутск, 2019. Т. 3. С. 147–150.

5. Подскребкин А.Д., Дягелев В.Ф., Полищук С.Т. Опыт использования тепловых насосов в мире и в России // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. 2016. № 4. С. 15–21.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПИТАНИЯ ЛУННОЙ БАЗЫ

В.А. Карпов

НИУ «МЭИ» ВФ, г. Волжский

НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва

sofyaapostolova@yandex.ru

Науч. рук. Д.И. Борисенко

Рассмотрены типы лунных баз, типы источников питания лунных баз, приведен анализ сравнительной характеристики питания лунной базы, рассмотрены системы энергоснабжения.

**Ключевые слова:** добывающе-перерабатывающий комплекс, лунная база, лунный грунт, солнечная электростанция, ядерно- энергетическая установка.

Выработанная годами схема мирового производства привела к тому, что около 98–99 % сырья превращается в отходы, а 88 % энергии производится за счёт топлива, в основе которого лежит углерод, запасы которого на Земле очень большие (дрова, уголь, нефть, газ). 60 % всех отходов, приносящих значительный вред экологической обстановке мировой системы, приходится именно на углеродное топливо [1]. В связи с высокими показателями превращения сырьевых материалов в отходы, встал вопрос: как можно оптимизировать структуру производства?

Отсутствие изменений технологий в сферах производства и энергетики, а также потребность увеличения последних (14 ТВт – в 1990 г. и, по минимальным оценкам, 23 ТВт – в 2020 г.), скорее всего, подведёт человечество к глобальным проблемам, которых хотелось бы избежать. Кардинальное изменение климатических условий, «парниковый эффект» – это лишь малая часть последствий имеющейся организации производственных процессов [2]. На самом деле, речь идёт о необратимых процессах, что произойдут в оболочке Земли и несущие прямую угрозу всем землянам. Деградация биосферы – очень серьёзное дело, наводящее учёных всего мира на продолжение разработок в областях когда-то оставленных.

Таким образом, следует вывод – «изолированное» в рамках Земли общество обречено на угасание, откат во времена аграрной экономики [3].

Однако Луна хранит огромный кладёзь, топлива для энергетических установок нового поколения, способного спасти ситуацию и дать человечеству шанс на продолжение привычного образа жизни. Всё дело

в огромных запасах ресурсов для развития термоядерной энергетики. Стоит вопрос лишь в том, как лучше человеку закрепиться на Луне, потому что, это – шаг к продолжению земной жизни, а не праздный интерес, ни к чему не ведущий. Нам нужна Луна, не смотря на то, что возникает очень много разных задач. И именно для этих целей нужны опорные пункты – лунные базы (ЛБ).

Потребности в электрической и тепловой энергии ЛБ должны отвечать целям и задачам, этапам освоения Луны, масштабу систем жизнеобеспечения людей и собственных нужд базы, процессам, протекающим на поверхности Луны и их цикличности, а также количеству добываемого сырья на поверхности Луны, аспектам, ведущим к увеличению добычи.

Предполагается несколько типов лунных баз:

1) ЛБ с добывающе-перерабатывающим комплексом (ДПК) [4] для производства кислорода и воды из лунных ресурсов;

2) ЛБ с ДПК, работающим по технологии полной переработки лунного грунта (для получения кислорода, воды, криогенных компонентов топлива и металлов). В соответствии с поставленными задачами и некоторыми другими аспектами, мы смотрим, какой комплекс нам лучше выбрать [5]:

– ДПКВ (энергопотребление до 100 кВт): комплекс, обеспечивающий добычу воды (содержащейся в форме льда) из лунного реголита, его термической обработкой, очистку воды и получение из неё кислорода и водорода посредством электролиза (применяется только для переработки грунта, богатого водяным льдом);

– ДПКР (энергопотребление до 500 кВт): комплекс, обеспечивающий получение кислорода и металлов (при необходимости) путём восстановления окислов металлов в ходе полной переработки лунного грунта, включающей процессы карбохлорирования [6];

– ДПК-Н<sub>2</sub> (энергопотребление до 1000 кВт), осуществляющий получение воды из адсорбированных газов (Н<sub>2</sub>, СО<sub>2</sub>, СО), с её последующим электролизом для производства кислорода. Попутно с адсорбированными газами добывается также и некоторое количество адсорбированной воды – продукта восстановления водородом солнечного ветра окислов лунного грунта;

3) ЛБ с ДПК для производства криогенных компонентов топлива (с оборудованием для их хранения) для обеспечения топливом лунной транспортной системы (в части доставки грузов с орбиты искусственного спутника Луны на поверхность Луны и обратно);

4) ЛБ с ДПК для добычи гелия-3 и установки для разделения газов (ГФУ) с оборудованием для его хранения.

Говоря об энергопотреблении ДПК, хотелось бы отметить, что среднесуточное потребление средней конфигурации составляет 20–60 кВт [7], но это при учёте того, что происходит удовлетворение только собственных нужд комплекса. При использовании различных промышленных установок мы приходим к трудному выбору источника энергии, чтобы обеспечить бесперебойное питание оборудования. И тогда встаёт вопрос: что выгоднее? – солнечные батареи или ядерный реактор.

Облик лунной солнечной электростанции (ЛСЭС) с источником питания на основе солнечных батарей будет зависеть от места дислокации ЛБ на поверхности Луны, так как это имеет очень большое значение [8]. В области, где лунная ночь длится 14 суток, для корректной работы солнечной электростанции требуется применение накопителя энергии, ёмкость которого определяется опять же, исходя из расчётов энергопотребления. Накопителями могут выступать химические аккумуляторные батареи (литиевые, никель-кадмиевые) или же регенерационные электрохимические генераторы (РЭХГ).

Сначала предполагалось использование газобаллонной системы хранения энергии в составе РЭХГ, но встал вопрос: как доставлять их на поверхность Луны? Всё дело в рентабельности и здравом смысле. Если же мы расположим ЛБ в области, где находится «пик вечного света», то нам не нужно будет включать накопители энергии в состав ЛСЭС, работающих на солнечных батареях, с лежащими в основе однотипными энергомодулями.

По распространённому мнению [10], на самом первом этапе развертывания лунных баз необходимо использовать ЛСЭС с применением РЭХГ в качестве основного источника питания, а в последствии, как системы аварийного электропитания для нештатных ситуаций (10 кВт).

При размещении лунной базы в области пика вечного света – предпочтительнее использовать ЛСЭС, при уровне энергопотребления 100–150 кВт, учитывая высокую степень технологической готовности оборудования, высокий ресурс, надёжность и безопасность в эксплуатации, тривиальность в ремонте, учитывая замену отдельных элементов.

Соответственно сравнение габаритных характеристик позволяет сделать о том, что для произвольного расположения ЛБ без определенной привязки к месту, предпочтительнее лунные атомные электрические станции (ЛАЭС), учитывая энергопроизводство в 200–250 кВт. Посмотрим на сравнительную характеристику двух типов источников питания.

Результаты качественного сравнения лунных атомной (ЛАЭС) и солнечной электростанций (ЛСЭС) [11]

Характеристика	ЛСЭС	ЛАЭС
Возможность размещения ЛБ в любом районе лунной поверхности	Ограниченная: невозможно использовать в постоянно затененных полярных районах, в произвольном районе Луны нужен накопитель большой ёмкости	Да
Возможность обеспечения любой циклограммы энергопотребления ЛБ и ДПК	Ограниченная: в общем случае требуется накопитель энергии большой ёмкости, при больших энергопотреблениях массогабаритные характеристики становятся неприемлемыми	Да
Транспортabilidade (возможность доставки на поверхность Луны проектируемыми средствами)	Да	Да
Возможность непосредственного производства тепловой энергии на высоком температурном уровне	Нет	Да
Надежность	Высокая: модульное построение, возможность многократного внутреннего резервирования	Высокая: отсутствие движущихся частей, модульность построения – возможность многократного внутреннего резервирования
Ресурс	10–15 лет	5–10 лет
Необходимость специальных мероприятий обеспечения безопасности	Нет (за исключением мер обеспечения безопасности при работе с системами высокого давления для РЭХГ)	Да (обеспечение радиационной и ядерной безопасности)
Ремонтопригодность	Да	Ограниченная
Уровень технологической готовности	Сравнительно высокий: наличие элементной базы и большого опыта эксплуатации СБ, в космосе при уровне мощности от единиц кВт до десятков кВт.	Сравнительно низкий: – наличие опыта эксплуатации космических ЯЭУ мощностью несколько кВт; – отработка технологий и отдельных узлов и агрегатов ЯЭУ мощностью 150–500 кВт

Соответственно сравнение габаритных характеристик позволяет сделать вывод о том, что для произвольного расположения ЛБ без определенной привязки к месту, предпочтительнее лунные атомные электрические станции (ЛАЭС), учитывая энергопроизводство в 200–250 кВт.

Из сравнения двух энергетических установок по определенным параметрам можно сделать вывод, что всё-таки в приоритете ЛАЭС. Всё связано с отсутствием строгой привязки к конкретному месту на поверхности Луны.

При всех недоработках и конструкторских нюансах использование ядерных энергоустановок предпочтительнее в плане выработки энергии для собственных нужд лунной базы ввиду габаритов, экономико-селенографических аспектов и технической составляющей вопроса.

### Источники

1. Проекты лунных баз: вчера и сегодня [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/384095/> (дата обращения: 09.03.2021).
2. Проект российской лунной базы [Электронный ресурс]. URL: [https://pikabu.ru/story/proekt\\_rossiyskoj\\_lunnoy\\_bazyi\\_5529453](https://pikabu.ru/story/proekt_rossiyskoj_lunnoy_bazyi_5529453) (дата обращения: 09.03.2021).
3. «Проекты лунных баз: история» [Электронный ресурс]. URL: <https://engineering-ru.livejournal.com/370011.html> (дата обращения: 09.03.2021).
4. Шевченко В.В. Лунная база. М.: Знание, 1991. 64 с.
5. Лунная база по проекту НПО «Энергия» [Электронный ресурс]. URL: <https://arsenal-info.ru/b/book/1604695417/75> (дата обращения: 09.03.2021).
6. «Как и зачем люди будут строить базы на Луне» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.forbes.ru/tehnologii/371919-kak-i-zachem-lyudi-budut-stroit-bazy-na-lune> (дата обращения: 09.03.2021).
7. «Российская программа освоения Луны» [Электронный ресурс]. URL: <https://kosmolenta.com/index.php/project-lunar/lunar-program-overview> (дата обращения: 09.03.2021).
8. «Предложение по созданию лунной базы» [Электронный ресурс]. URL: [https://mirrobo.ru/pilot/wp-content/uploads/%D0%9B%D0%A3%D0%9D%D0%90-%D0%A1%D0%95%D0%9C%D0%AC\\_V2.pdf](https://mirrobo.ru/pilot/wp-content/uploads/%D0%9B%D0%A3%D0%9D%D0%90-%D0%A1%D0%95%D0%9C%D0%AC_V2.pdf) (дата обращения: 09.03.2021).
9. «Россия построит атомный реактор на Луне» [Электронный ресурс]. URL: <https://oko-planet.su/science/sciencecosmos/323474-rossiya-postroit-atomnuu-reaktor-na-lune.html> (дата обращения: 09.03.2021).

10. «Военная база на Луне» [Электронный ресурс]. URL: <https://topwar.ru/9244-voennaya-baza-na-lune.html> (дата обращения: 09.03.2021).

11. «Сравнительная оценка технико-экономической эффективности использования солнечных и ядерных энергетических установок в составе лунной базы» [Электронный ресурс]. URL: <https://ies.unitech-mo.ru/files/upload/publications/24027/0364cbda5dd87dcb586164377d071d2b.pdf>. (дата обращения: 09.03.2021).

УДК 620.9

## **СОЛНЕЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ. ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ОТОПЛЕНИЯ ИЛИ НЕРЕНТАБЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА**

И.И. Клюкин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[ilya.klyukinbkru.96@mail.ru](mailto:ilya.klyukinbkru.96@mail.ru)

Науч. рук. А.Е. Кондратьев

Произведен сравнительный анализ конструктивных особенностей солнечных коллекторов, преимуществ и недостатков различных конструкций. Показана целесообразность применения вакуумных солнечных коллекторов применительно к г. Казань.

**Ключевые слова:** солнечный коллектор, условное топливо, теплоноситель, вакуумный коллектор, инсоляция, отопление.

Солнечная энергетика – один из самых безопасных и неизученных источников энергии.

Из литературы известно, что потенциал различных возобновляемых источников энергии (в частности солнечная энергетика) в России огромен. Потенциал, которым располагает Россия на нынешнем уровне развития техники составляет 4,6 млрд т условного топлива. Это более чем в 5 раз более потребления на данном этапе развития [1].

Солнечный коллектор – это механизм для сбора энергии Солнца, который нагревается благодаря попаданию на него солнечных лучей.

Лучи нагревают трубки, где циркулирует теплоноситель, а далее это тепло передается система, которая уже нагревает воду или имеющийся в помещении воздух. Известны следующие типы солнечных коллекторов [2]:

1) плоские (название получили за внешний вид) – имеет вид короба, сделанного из металла и покрытого стеклом;

2) вакуумные – самый распространенный вид, представляют собой панель с большим количеством тонких трубок, внутри которых находится медная трубка (адсорбер);

3) воздушные – основаны на принципе парникового эффекта. Солнечные лучи нагревают данный коллектор, а он через специальное устройство получения тепла (приёмник) передает тепло внутрь помещения [3].

Анализ конструкции солнечных коллекторов показал, что наиболее эффективными являются вакуумные коллекторы. Достоинства и недостатки солнечных коллекторов:

- 1) независимы от тарифов на подогрев воды и отопления;
- 2) имеют достаточно долгий срок работы около 30 лет;
- 3) быстро окупаются, достаточно порядка 3–4 лет;
- 4) достаточно экологичны, нет никаких выбросов в атмосферу;
- 5) сильно снижают нагрузку на электросеть.

К недостаткам можно отнести:

- 1) для начала их использования потребуются солидные инвестиции;
- 2) зависимы от большего числа внешних факторов: погода, место их установки и прочее [4].

Разобравшись с принципом работы, видами, а также достоинствами и недостатками солнечных коллекторов, проведено исследование о выгоде использования солнечных коллекторов на территории республики Татарстан. В качестве примера был рассмотрен город Казань [5].

Проведем формализованный расчет, показывающий количество энергии, которое будет сэкономлено вакуумным коллектором.

Данные для расчета:

- место анализа – город Казань, республика Татарстан.
- площадь поглощения солнечного света –  $3,06 \text{ м}^2$  (на основе данных таблицы о среднем количестве поступления солнечной энергии для регионов РФ);
- величина инсоляция в городе Казань, республика Татарстан –  $1\,346,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ ;
- КПД – от 50 до 70 % (усредненные показатели полезной мощности самых дешевых коллекторов) [6];
- угол наклона коллектора – в расчетах будут использованы оптимальные данные (в случае республики Татарстан составляет  $44,9$  град.).



По известной методике можно определить, что применение вакуумного коллектора позволит сэкономить.

Энергетическая польза при использовании вакуумного коллектора с 15-ю вакуумными трубками, при КПД 50 % составит:

$$687,2 \cdot 3,06 \cdot 0,5 = 1\,051,4.$$

(если же КПД коллектора будет достигать 70 % то энергетическая польза будет составлять 1 472 кВт или 1,4 мВт), то есть, практически 1 мВт. энергии, что в день составляет примерно 5,7 кВт.

Вывод: солнечные коллекторы оптимальны в самые солнечные дни, то есть в период с марта по август, тогда их КПД максимально, что позволяет сэкономить средства на услуги отопления и подогрева воды [7].

### Источники

1. Фаритова А.А. Особенности конструкции вакуумных солнечных коллекторов // Тинчуринские чтения – 2018: матер. XIII Междунар. молод. науч. конф. Казань, 2018. Т. 2. С. 461–464.

2. Калинина М.В. Оценка эффективности применения солнечных коллекторов разных модернизаций // Научному прогрессу – творчество молодых. Йошкар-Ола, 2018. № 2. С. 93–95.

3. Анастасьева Д.А. Перспективы использования солнечной энергетики для получения тепловой энергии // Научному прогрессу – творчество молодых. 2017. № 2. С. 96–98.

4. Гилязова Г.Р. Особенности применения солнечных коллекторов для системы отопления // Научному прогрессу – творчество молодых. 2020. № 2. С. 25–27.

5. Калинина М.В. Проблемы эксплуатации солнечного коллектора для систем отопления и горячего водоснабжения индивидуального жилого дома в республике Татарстан // Тинчуринские чтения – 2018: матер. XIII Междунар. молод. науч. конф. Казань, 2018. Т. 2. С. 181–182.

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

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

## ПЛОСКИЕ И ВАКУУМНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Д.А. Макуева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

dil.avp@mail.ru, aekondr@mail.ru

Науч. рук. А.Е. Кондратьев

Предложено использование в системе теплоснабжения применение возобновляемых источников энергии, одним из которых является солнечная энергетика. Рассмотрены плоские и вакуумные солнечные коллекторы, их недостатки и достоинства.

**Ключевые слова:** солнечный коллектор, горячее водоснабжение, теплообмен, отопление, плоский вакуумный солнечный коллектор, абсорбер, гелиоустановка.

Солнечный коллектор – устройство, работающее по принципу гелиоустановки, которое используется с целью преобразования энергии солнца в иную, например, тепловую или электрическую. Существует большое количество самых разнообразных систем, использующих солнечную энергию. Все они отличаются не только своей конструкцией, но и объемом энергии, которую они могут вырабатывать. Они могут эффективно применяться в совмещенных системах отопления горячего водоснабжения, системах автономного электро- и теплоснабжения жилых и производственных помещений [1]. Достоинствами использования солнечных коллекторов можно считать: безопасный и «чистый» источник энергии для отопления, практичность, автоматизация системы отопления и горячего водоснабжения, круглогодичность.

Различают плоские и вакуумные коллекторы. В случае, когда солнечный коллектор используется для отопления, можно использовать оба типа, но когда коллектор используется для индивидуальных проектов, целесообразнее использовать вакуумный тип [2].

Достоинство коллектора плоского типа является простота и надежность конструкции, высокая производительность (КПД более 50 %). Элементами плоского солнечного коллектора являются: абсорбционный слой (телопоглощающее покрытие), корпус, прозрачное защитное покрытие, теплоизолятор (обычно 20–60 мм), впускной и выпускной патрубки. Возможно использование стекла из поликарбоната вместо обычного

защитного стекла. Стекло из поликарбоната также имеет хорошую пропускную способность солнечных лучей, является более устойчивым к ударам и различным погодным условиям, включая град [3]. Эффективность работы плоского солнечного коллектора напрямую зависит от площади теплопоглощающего покрытия, толщины теплоизолятора, герметичности и др. К недостаткам можно отнести высокие тепловые потери и парусность.

Вакуумный солнечный коллектор, в отличие от плоского, устроен иначе: устройство состоит из крепких стеклянных трубок, объединенных в систему, с откачанным для образования вакуума воздухом. Такие коллекторы обладают меньшей парусностью, незначительными теплопотерями, высокой стойкостью относительно механического повреждения и внешнего загрязнения [4]. Вакуумные гелиоколлекторы производятся следующих видов: плоские и трубчатые.

Ключевым элементом любого солнечного коллектора является абсорбер (поглотитель) – покрытие, обеспечивающее максимальное поглощение излучения солнца.

На основе изученной литературы, был выделен плоский вакуумный солнечный коллектор, который может быть использован в устройствах, преобразующих энергию солнца в тепловую энергию теплоносителя в системах горячего водоснабжения и отопления. Такая установка может применяться в промышленности для частичного или полного покрытия собственных нужд. Вакуумный плоский солнечный коллектор, в отличие от обычного плоского коллектора, имеет между панелями вакуум, снижающий тепловые потери.

Данный тип гелиоустановки содержит: герметичный корпус, внешнюю прозрачную панель, заднюю панель, абсорбер, теплоноситель. Между панелями создается вакуум и устанавливается внутренняя прозрачная панель. В качестве абсорбера используется окрашенный в темный цвет теплоноситель, который находится между внутренней прозрачной панелью и задней панелью. Между внешней и внутренней прозрачной панелью создается вакуум, где содержится разреженный до 0,2–0,5 атм парниковый газ [5].

Для достижения максимальной практической пользы от использования солнечных коллекторов в системах подготовки горячей воды (ГВС) рациональнее применять их не в качестве источника ГВС, а лишь в качестве устройства для подогрева воды, которая подается в отопительную установку [6]. При таком варианте использования расход топлива будет снижен и будет обеспечена бесперебойная подача горячей воды, что позволит снизить расход средств на ГВС и отопление дома, если он используется для постоянного проживания [7].

## Источники

1. Совмещенная система отопления с солнечной установкой горячего водоснабжения: пат. 2110017 Рос. Федерация № 93048655/06; заявл. 21.10.1993; опубл. 27.04.1998.
2. Фаритова А.А. Особенности конструкции вакуумных солнечных коллекторов // Тинчуринские чтения – 2018: матер. XIII Междунар. молод. науч. конф. Казань, 2018. Т. 2. С. 461–464.
3. Калинина М.В. Оценка эффективности применения солнечных коллекторов разных модернизаций // Научному прогрессу – творчество молодых. Йошкар-Ола, 2018. № 2. С. 93–95.
4. Анастасьева Д.А. Перспективы использования солнечной энергетики для получения тепловой энергии // Научному прогрессу – творчество молодых. Йошкар-Ола, 2017. № 2. С. 96–98.
5. Плоский вакуумный солнечный коллектор: п. м. 174142 Рос. Федерация № 2016127386; заявл. 24.09.2015; опубл. 04.10.2017, Бюл. № 28.
6. Калинина М.В. Проблемы эксплуатации солнечного коллектора для систем отопления и горячего водоснабжения индивидуального жилого дома в республике Татарстан // Тинчуринские чтения – 2018: матер. XIII Междунар. молод. науч. конф. Казань, 2018. Т. 2. С. 181–182.
7. Фаритова А.А. Использование солнечных коллекторов в Республике Татарстан // Научному прогрессу – творчество молодых. Йошкар-Ола, 2018. № 2. С. 147–149.

УДК 620.178.5:681.586.773

## ВАРИАНТЫ КАЛИБРОВКИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

А.А. Мукатдаров  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
alijkjan1155@yandex.ru  
Науч. рук. А.Е. Кондратьев

Рассматриваются основные методы калибровки пьезоэлектрических датчиков для проведения вибродиагностики.

**Ключевые слова:** вибродиагностика, калибровка, пьезоэлектрический датчик, колебания.

Калибровка измерительной аппаратуры является важнейшей частью процедуры подготовки средств измерений к испытаниям. Различают калибровку собственно датчика вибрации и калибровку всего измерительного тракта от датчика до индикаторного устройства виброизмерительного прибора. Калибровка датчика является обязательной процедурой, следующей за его изготовлением [1].

В результате калибровки измерительного тракта «датчик – измеритель» устанавливается соответствие между измеряемым параметром вибрации (виброперемещением, виброскоростью, виброускорением) и показаниями индикаторного устройства виброизмерителя, отградуированного в единицах параметра вибрации (например, виброускорения). Откалиброванная аппаратура позволяет получать результаты измерений вибропараметра простым считыванием показаний с индикаторного устройства виброизмерителя [2].

Основной целью калибровки датчика является определение его чувствительности в рабочем диапазоне частот и амплитуд в направлении оси чувствительности датчика, т. е. определение коэффициента передачи, амплитудной характеристики, АЧХ и ФЧХ [3].

Калибровку датчика выполняют с помощью источника (генератора) колебаний, создающего на входе датчика регулируемый и измеряемый сигнал, а также средств измерений и регистрации выходного сигнала датчика. Датчик прикрепляют к генератору вибрации соединительным элементом, обеспечивающим максимальную жесткость соединения [4]. Генераторами воздействия являются: вибровозбудитель (чаще электродинамический), устройство для поворота датчика относительно вертикальной оси (при изменении положения оси чувствительности в датчике с направляющими изменяется составляющая силы тяжести), центрифуга, наковальня баллистического маятника и др. Вибровозбудитель применяют для калибровки датчиков, работающих в стационарном синусоидальном режиме. Баллистические маятники используют при определении собственной частоты датчика в ударном режиме (в режиме свободных колебаний измерительного осциллятора) [5].

**Калибровка на центрифуге.** Центрифуга представляет собой платформу, которая вращается вокруг вертикальной оси с постоянной угловой скоростью. Датчик, установленный на центрифуге, подвергается воздействию постоянного центробежного ускорения. На центрифуге калибруются датчики ускорения с рабочим частотным диапазоном,

начинающимся от нуля герц. Чувствительность датчиков ускорения на нулевой частоте этим способом определяется с погрешностью не более 1 %. В наклонной центрифуге ось вращения центрифуги не параллельна вектору силы тяжести, и ускорение, приложенное к датчику, закрепленному на центрифуге, будет иметь переменную составляющую (обусловленную силами гравитации). Предельное значение гравитационной составляющей ускорения  $\pm g$  на любой скорости вращения. Максимально возможная частота в калибровочных установках с центрифугой обычно не превышает нескольких сотен герц. Двойная центрифуга состоит из малой центрифуги, установленной со смещением осей вращения на большой центрифуге. Двойная центрифуга позволяет получить синусоидальное ускорение до  $500 \text{ м/с}^2$  в диапазоне частот  $0,7 \dots 10 \text{ Гц}$ .

**Гравитационная калибровка** (калибратор с поворотной опорой). При калибровке используется вес инертного элемента измерительного осциллятора. Калибровочная установка представляет собой платформу с поворотной опорой, имеющей возможность изменять свое положение в пространстве относительно вертикальной оси. Датчик располагается на платформе так, чтобы измерительная ось была вертикальна, а затем переворачивается, чтобы направление оси чувствительности изменилось на обратное. Разность постоянных сил, приложенных в обоих случаях к инертному элементу с массой  $M$ , составляет  $2Mg$ .

**Метод приложения дополнительной силы** является вариантом гравитационной калибровки. Для применения этого метода датчик должен работать при вертикальной ориентации измерительной оси, обладать амплитудной характеристикой, линейной в широких пределах, и допускать нагружение инертного элемента [3].

**Калибровка с помощью шарика из неферромагнитного материала.** Такая калибровка заключается в использовании эффекта отрыва шарика от горизонтальной поверхности стола вибратора при вертикальных колебаниях стола. Это один из простейших методов калибровки, который используется в тех случаях, когда другие методы реализовать невозможно. Шарик из неферромагнитного (ненамагничивающегося) материала (например, латуни) устанавливается на стол вибратора. При превышении амплитудного значения виброускорения по вертикали  $1 \text{ g}$  шарик отрывается от стола. Сигнал с выхода датчика выводится на экран осциллографа. Момент отрыва шарика достаточно точно определяется по появлению выброса (всплеска) на синусоидальном сигнале с датчика.

## Источники

1. Вибростенд для калибровки пьезодатчиков: пат. 178307 Рос. Федерация № 2017127383; заявл. 31.07.2017; опубл. 29.03.2018, Бюл. № 10.
2. Установка для калибровки пьезоэлектрических датчиков / С.О. Гапоненко [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. № 7-8. С. 79–86.
3. Первичный преобразователь ударно-акустического дефектоскопа: пат. 103928 Рос. Федерация № 2010149548/28; заявл. 03.12.2021; опубл. 27.04.2011, Бюл. № 12.
4. Мукадаров А.А. Методы калибровки пьезоэлектрических датчиков // Научному прогрессу – творчество молодых. 2020. № 2. С. 34–36.
5. Gaponenko S.O., Kondratiev A.E. Device for calibration of piezoelectric sensors // Proc. of the International Conference on Industrial Engineering. 2017. Pp. 146–150.

УДК 662.767.2

## АНАЛИЗ СИСТЕМ СЖИГАНИЯ БИОГАЗА

Г.Р. Мустафина  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
gulfia999@gmail.com  
Науч. рук. А.Е. Кондратьев

Рассмотрен способ получения энергии от биогаза в когенерационных блоках. Анализ систем сжигания в когенераторах на основе поршневых и газотурбинных, их преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** биогаз, когенератор, поршневой, газотурбинный, двигатель внутреннего сгорания.

Для максимальной энергонезависимости биогазовых установок необходимо преобразовывать энергию биогаза в тепловую. КПД газовых котлов при работе на биогазе получается наименьшим из-за неправильных параметров настроек газо-воздушной смеси. При отдельном производстве электроэнергии и тепла при помощи электростанции и котла. Общая эффективность сравнительно мала. От 100 % топлива вырабатывается 36 % электричества и 80 % тепла. Т. е., общая эффективность равна:  $\text{КПД} = 58 \%$ .

Но также есть еще один способ получения энергии – это когенерация. В когенераторах одновременно можно получить несколько видов энергии – это электрическую и тепловую. Общая эффективность от этой установки составляет 90 %, т. е. КПД = 90 %.

Для выполнения тепловой работы биогаза необходимо потратить в полтора раза больше, чем природного газа. Это обуславливается тем, что в природном газе содержится в среднем 95 % метана, а в биогазе всего 65 %. Это две трети [1].

Когенераторы могут быть поршневыми и газотурбинными. Поршневые работают от двигателей внутреннего сгорания, топливом для которых служит газ. На данный момент они являются самыми востребованными. Из-за простоты в обслуживании, легкого управления, низкой стоимости и высокого КПД. Газотурбинные установки имеют меньшие размеры и мощности. Они удобны при постройке в ограниченном пространстве, но популярности они не получили из-за малой мощности. Тепловая энергия, в этом случае, снимается тоже в виде горячей воды, циркулирующей через теплообменник [2].

Перед тем как применять биогаз для топлива, необходимо газовую смесь просушить, произвести сероочистку и затем подать в газопоршневой двигатель, который позволяет вращать генератор. Производимый электрический ток поступает в сеть. Тепло из системы охлаждения используется с помощью теплоносителя для дальнейшего использования. Примерно 15–30 % этого тепла отводится для отопления ферментатора, а остальное тепло отводится потребителю [3].

Наиболее рационально использовать установку с круглогодичным использованием тепла. Для этого наиболее выгодна установка на базе двигателя внутреннего сгорания. Электроэнергия используется круглогодично для собственных нужд и для подачи в сеть.

Из одного кубометра газа вырабатывается одновременно в таких установках 2,4 кВтч электрической +3,2 кВтч тепловой энергии [4].

Простому говоря, применение биогаза для получения тепловой энергии ничем кардинально не отличается от применения для этих же целей природного газа или сжиженного пропан-бутана.

## **Источники**

1. Ахметгалиев И.Ф. Вопросы утилизации органических отходов крупного рогатого скота с получением биогаза // Матер. XIV Междунар. молод. науч. конф. по естественным и техническим дисциплинам. Йошкар-Ола, 2019. С. 78–80.



2. Мустафина Г.Р., Кондратьев А.Е. Перспективы применения биогазовой установки при утилизации органических отходов птицефабрик // Экологическая безопасность в техносферном пространстве: Всерос. конф. молодых ученых и студентов. 2020. С. 88–90.

3. Ибадов А.А. Применение биогазовой установки для утилизации органических отходов молочного производства // Научному прогрессу – творчеству молодых: матер. XII Междунар. молод. науч. конф. по естественным и техническим дисциплинам. Йошкар-Ола, 2017. С. 147–148.

4. Кашапова А.Р. Особенности условий хранения биометана // Матер. XI Междунар. молод. науч. конф. по естественным и техническим дисциплинам. Йошкар-Ола, 2016. С. 198–200.

УДК 662.767.2

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗА

Г.Р. Мустафина  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
gulfia999@gmail.com  
Науч. рук. А.Е. Кондратьев

Рассмотрен способ наиболее эффективного использования биогаза при помощи когенерации. Для чего применима установка в данном случае, про возможности времени использования и преимущества. Вопросы о необходимости факельной установки

**Ключевые слова:** биогаз, когенератор, факельная установка, поршневой, газотурбинный.

В настоящее время в условиях энергетического кризиса наибольшее применение получил такой вид возобновляемой энергетики, как получение и использование биогаза. Биогаз наиболее эффективно использовать в комбинированной установке для получения тепловой и электрической энергии, достигающий высокого КПД.

Таким образом, биогазовая установка применима для получения тепловой и электрической энергии, а также в качестве топлива для автомобилей.

Полученная энергия используется или на месте, или аккумулируется. Поэтому когенерационный блок является достаточно гибким источником получением энергии [1].

Высокоэффективные когенерационные установки можно строить на основе микротурбинного оборудования, которое вызывает интерес из-за его компактности, что дает преимущество для ограниченного пространства. Данное оборудование может повышать топливную эффективность на двадцать процентов при работе в режиме когенерации. В сравнении с газопоршневыми установками вдвое сокращаются эксплуатационные расходы.

В качестве преимуществ применения когенерационных установок выступают:

- замены масла необходимо производить не через 500, а через 2 000 моточасов;

- достаточно высокий электрический КПД составляет до 40 %, суммарный КПД (электричество + тепло) до 90 %;

- высокая надежность [2].

Электростанция – главная деталь биогазовой станции, в ней больше всего подвижных частей. От этого агрегата напрямую зависит экономическая выгода, и это то, на чем не стоит экономить.

Типовая биогазовая установка для промышленных предприятий состоит из двух частей: из реактора, образующего биогаз и факельной установки, то есть топочной камеры, в которой биогаз сжигают при отсутствии возможности его полезного использования в качестве энергоносителя. Факел состоит из горелки, которая работает по принципу инжекционного сжигания, состоящая из сопла, инжектора с системой контроля подачи воздуха, и другими системами управления пламенем [3].

Факельная установка содержит горелку и штуцер, установленный вертикально. Надежность конструкции факельных процессов зависит от структуры температурного поля.

Данную установку необходимо использовать для безопасности окружающей среды и минимальному образованию парниковых газов.

Также установки для сжигания газа обычно используются на предприятии при бездымном сжигании биогаза. Основная задача автоматизации факельных установок – это обеспечение надежной работы горелок.

## **Источники**

1. Мустафина Г.Р., Кондратьев А.Е. Перспективы применения биогазовой установки при утилизации органических отходов птицефабрик // Экологическая безопасность в техносферном пространстве: Всерос. конф. молодых ученых и студентов. 2020. С. 88–90.

2. Загретдинова А.Р., Кондратьев А.Е. Установка для анаэробного сбраживания органических отходов с получением биогаза // Научному прогрессу – творчеству молодых: матер. Междунар. молод. науч. конф. по естественным и техническим дисциплинам. Йошкар-Ола, 2016. С. 176–177.

3. Ибадов А.А. Применение биогазовой установки для утилизации органических отходов молочного производства // Научному прогрессу – творчеству молодых: матер. XII Междунар. молод. науч. конф. по естественным и техническим дисциплинам. Йошкар-Ола, 2017. С. 147–148.

УДК 621.186.3

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПАРΟΣНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРИМЕНЕНИЯ ПАРОНАКОПИТЕЛЯ И АККУМУЛЯТОРА ПАРА**

Л.И. Мухаматгалиев  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
Linar.muhamatgaliev@yandex.ru  
Науч. рук. Э.А. Ахметов

Посвящен исследованию по внедрению систем паронакопителя и аккумулятора способствующих оптимизации работы предприятия.

**Ключевые слова:** пароснабжения, теплотери, оптимизация, энергоэффективность, паронакопитель, аккумулярование пара.

В статье рассматривается решение проблем по снижению расхода топлива за счет введения накопителя пара нацеленных на увеличение использования вторичного пара в технологическом процессе.

В реальное время создано большое количество различных схем для применения теплоты отработавшего в промышленности пара. Одним из них является аккумулятор пара, который рассмотрим в дальнейшем статье [1].

Один из важных факторов для чего применяется аккумулятор пара это эмитации теплового удара. Фактически это дополнительный резервуар для парогенератора или парового котла, в котором хранится вода при той же температуре и при том же давлении, что и в самом котле.

То есть аккумулятор пара не накапливает пар, а накапливает воду и далее вода кипит при высокой температуре, около 150 °С. Когда паровая нагрузка, накладываемая оборудованием, невелика, и котёл может вырабатывать пара больше, чем требуется, потом излишки пара впрыскиваются в находящуюся под давлением водяную массу. Постепенно с течением времени температура и давление воды в резервуаре увеличивается до тех пор, пока жидкость не достигнет температуры насыщения, соответствующей давлению, при котором работает котёл [2].

Циклы, которые происходят в этой системе, такие как отдача и наполнения объясняют, почему описываемое устройство называют аккумуляторами пара. Поскольку в аккумуляторе происходит падение давления воды, которая хранится при температуре насыщения, пар будет вырабатываться при любой нагрузке, превышающей производительность котла. Таким образом, требование к количеству пара при пиковой нагрузке будут удовлетворены. Когда нагрузка падает производительности котла, аккумулятор будет наполняться излишками производимого котлом пара. Использование парового аккумулятора позволяет непрерывно поддерживать горение в топке котла на уровне максимальной непрерывной мощности.

После подачи пара, идет снижение давления и вода, которая кипит у нас в аккумуляторе пара за доли секунд превращается в пар. То есть за секунду воздух в парогенераторе или в паровом котле замещается паром из аккумулятора, это и есть тепловой удар [3].

Обслуживание накопителя пара происходит следующим образом, необходимо чистить только сосуд и проверять надежность арматуры и самое главное датчики, которые находятся в нем.

Применяемость с оборудованием: паровая арматура, парогенераторы и паровые котлы.

Аккумулятор пара рекомендуется использовать с парогенератором или паровым котлом. Парогенераторы и котлы можно и не доукомплектовывать аккумуляторами, но из-за этого нужно будет подобрать и установить парогенератор намного мощнее, чем, если установить парогенератор с аккумулятором пара [1].

Аккумулятор пара:

- качественные и стабильные характеристики пара;
- минимальные просадки пара при больших разбросах;
- наличие автоматики для поддержания уровня воды;
- рабочее давление 3-4 атм.;
- меньшие габариты по сравнению с паронакопителем;
- долгий выход на рабочий режим (до 8 ч).

Паровые аккумуляторы могут быть в отдельных случаях использованы для выравнивания не только теплового, но и электрического графика нагрузки основных турбин и котельных агрегатов станции. Для предотвращения теплотерь и повышения эффективности эксплуатации аккумулятора пара рекомендуется утеплять паровые ёмкости. Следует отметить, что на крупных электрических станциях, работающих в мощных электрических системах, применение паровых аккумуляторов почти не имеет места. Они используются по большей части на мелких промышленных установках.

### Источники

1. Мухаматгалиев Л.И. Оптимизация работы системы пароснабжения предприятия // XXIII Всерос. аспирантско-магистерский науч. семинар, посвященный дню энергетика. Казань, 2019.

2. Ившин Р.В. Оптимизация работы котельной с использованием энергосберегающих мероприятий // XXIII Всерос. аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика. Казань, 2019.

3. Цветков В.В. Организация пароснабжения промышленных предприятий. М.: Энергия, 1980. 206 с.

УДК 699.86

## РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ СТЕКЛОПАКЕТ

Г.И. Парфенов<sup>1</sup>, И.С. Трухин<sup>2</sup>  
ФГБОУ ВО «ИГЭУ», г. Иваново  
parfenovgip@gmail.com

Науч. рук.: В.М. Захаров, Н.Н. Смирнов

Публикуются результаты исследований по моделированию процесса теплопередачи через стеклопакет, размещенный в деревянной раме. С помощью метода конечных элементов разработана имитационная модель данного объекта, а также приведены полученные теплотехнические характеристики светопрозрачной конструкции.

**Ключевые слова:** стеклопакет, воздушная прослойка, двухмерная модель, теплопередача, свободная конвекция, излучение.

При проектировании и эксплуатации систем энергообеспечения зданий на промышленных предприятиях важное значение приобретает составление теплового баланса помещений.

В строительной теплофизике особое внимание уделяется вопросам повышения тепловой защиты существующих и проектируемых зданий и сооружений [1]. «Слабым звеном» в тепловой защите являются светопрозрачные конструкции, обладающие наименьшим значением сопротивления теплопередаче. В качестве энергосберегающих решений предлагается увеличение количества слоёв остекления, применение теплоотражающих покрытий и металлических экранов [2], заполнение воздушных прослоек газами с низкой теплопроводностью, вакуумирование и т. д.

При расчете приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций особую важность представляют процессы, происходящие в воздушной прослойке между слоями остекления. Для изучения данного вопроса в специализированном программно-вычислительном комплексе была разработана двухмерная имитационная модель процесса теплопередачи через стеклопакет. При моделировании использовался метод конечных элементов.

Моделировался процесс теплопередачи через двухкамерный стеклопакет формулой  $4M1 \times 10 \times 4M1 \times 10 \times 4M1$  (рис. 1).



Рис. 1. Двухкамерный стеклопакет

Теплопередача осуществлялась за счёт процессов теплопроводности, конвекции и радиации, моделируемых отдельными физическими блоками.

Теплоотдача от внутренней и наружной поверхностей задавались с помощью граничных условий 3-го рода, при этом коэффициенты теплоотдачи для внутренней и наружной поверхностей были приняты равными 8 и 23 Вт/(м<sup>2</sup>·°С) [1], соответственно. Температуры окружающего

внутреннего и наружного воздуха задавались 20 и  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , соответственно. Были заданы необходимые теплофизические свойства материалов, входящих в конструкцию стеклопакета.

Конечная сетка элементов моделируемого объекта, которая задавалась в автоматическом режиме, представлена на рис. 2.

В результате моделирования были получены температурные (рис. 3) и скоростные поля стеклопакета. Наибольшие значения температуры на внутренней поверхности светопрозрачной конструкции фиксировались в верхней части деревянной рамы, наименьшие – в нижней краевой зоне стеклопакета. Особый интерес представляют рассчитанные в программном комплексе линии функции тока (рис. 4), а также изотермы во внутренней прослойке стеклопакета.

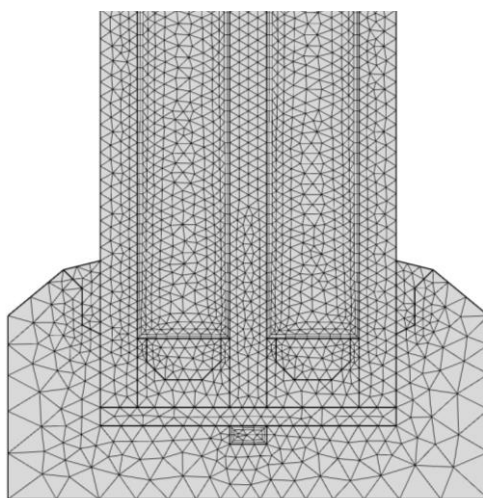


Рис. 2. Сетка

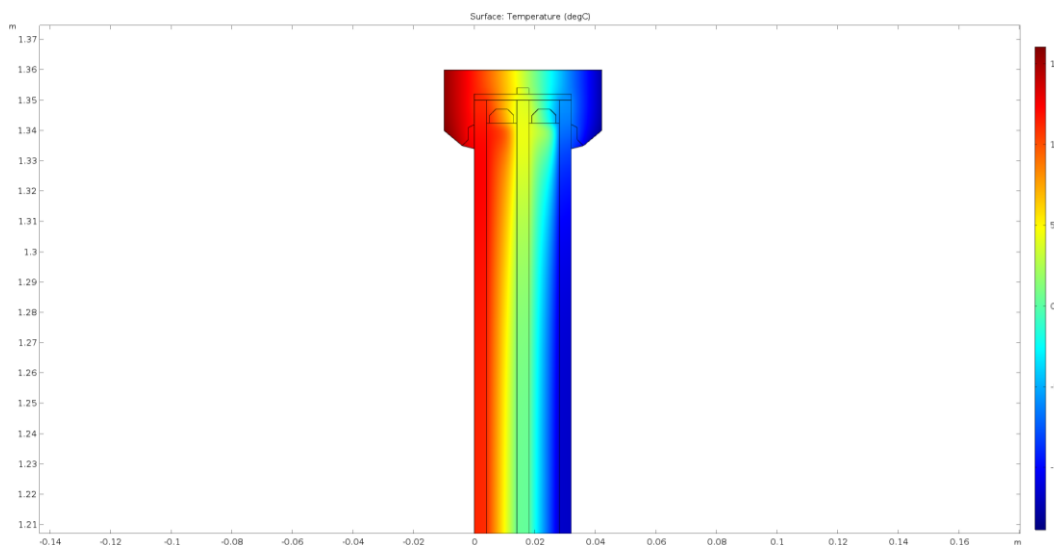


Рис. 3. Температурное поле в верхней части стеклопакета

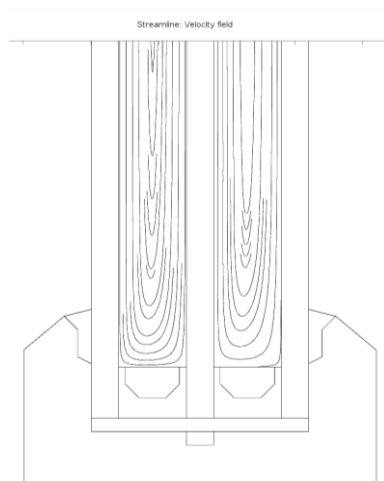


Рис. 4. Линии тока в нижней части стеклопакета

На основании выполненного моделирования были определены тепловые потери, а также приведенное сопротивление теплопередаче данной светопрозрачной конструкции.

#### Источники

1. Савин В.К. Строительная физика: энергоперенос, энергоэффективность, энергосбережение. М.: Лазурь, 2005. 432 с.
2. Improving the energy efficiency of dynamic air condition systems in buildings with controlled resistance to window heat transfer / G.I. Parfenov [et al.]. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1111/1/012043> // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1111, Is. 1.

УДК 697.328

### ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ТИПА ТТАИ В ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТАХ

Л.Р. Сабирова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
leysan.sabirova.97@mail.ru  
Науч. рук. А.Е. Кондратьев

Рассматривается внедрение трубчатых теплообменников типа ТТАИ в индивидуальные тепловые пункты. А также рассматриваем его преимущества, целый ряд инновационных технических решений.

**Ключевые слова:** индивидуальный тепловой пункт, теплообменные аппараты типа ТТАИ, тепловая эффективность ТТАИ, массо-габаритные характеристики, преимущества теплообменных аппаратов типа ТТАИ.



Индивидуальные тепловые пункты (ИТП) получают все более широкое применение [1]. ИТП может иметь самую различную комплектацию, в зависимости от требований заказчика и конкретной схемы подключения потребителей тепловой энергии к тепловым сетям или иным источникам тепла, но практически всегда ИТП имеют в своем составе теплообменные аппараты. Теплообменные аппараты являются основой теплового пункта и вокруг них komponуются все прочие его элементы – арматура, средства автоматизации и учета, насосы, фильтры и пр. [2].

Трубчатые теплообменники типа ТТАИ («тонкостенный теплообменный аппарат интенсифицированный») удачно применяются для решения задач теплопередачи в жилищно-коммунальном хозяйстве и практически во всех отраслях промышленности. Данные аппараты позволяют обеспечивать эффективную работу котельных, тепловых пунктов, тепловых насосов и самых разнообразных систем в промышленности и теплоэнергетике [3].

Достоинства теплообменников:

- передача тепла выше, чем у пластинчатых теплообменников;
- вес в 10 раз меньше, чем у пластинчатых теплообменников;
- на установку затраты в 2–5 раза ниже, чем у пластинчатых;
- на эксплуатацию затраты практически отсутствуют.

По своей конструкции теплообменные аппараты ТТАИ принадлежат к кожухотрубным, но в отличие от традиционных моделей, в аппаратах заложен целый ряд инновационных технических решений [4]:

- особые тонкостенные трубки с термодинамически целесообразным профилем;
- расширенные патрубки;
- псевдофланцевое разъёмное соединение;
- плотноупакованный трубный пучок с нерегулярной разбивкой и малым эквивалентным гидравлическим диаметром;
- трубный пучок, извлекаемый из корпуса, благодаря «плавающим» трубным решёткам;
- для дистанции использование перегородок специальной конструкции;
- трубные решетки могут быть не только металлическими, но и композитными;
- при повышенных скоростях движения, чистый противоток теплообменивающихся сред;
- схемы движения сред могут быть одно-, много- и сложнородовыми;

- уменьшение гидравлического сопротивления;
- использование нержавеющей стали или титана для теплообменной трубки и корпуса;
- корпус из специальных тонкостенных труб;
- наличие эффекта самоочистки.

Так как все ныне широко известные теплообменники, в том числе и пластинчатые, всегда занимают определенное место в плане помещения, то и весь ИТП в целом занимает значительную площадь помещения.

В 1990 г. был разработан кожухотрубный теплообменник не уступающий и зачастую превосходящий по комплексу потребительских свойств, современные, в т.ч. импортные, пластинчатые аппараты. Теплообменные аппараты, под названием ТТАИ достаточно хорошо конкурируют с современными пластинчатыми теплообменниками [5].

Теплообменный аппарат марки ТТАИ означает «тонкостенный теплообменный аппарат». Все толщины (в т. ч. и корпуса) расчетные, с учетом всех необходимых коэффициентов и запасов, но без поправки. В большинстве случаев аппараты вообще не требуют никаких опор, фундаментов и пр. Они крепятся только за счет жесткости подводящих и отводящих трубопроводов. Но вдруг фундамент по каким-то причинам предусмотрен, нельзя жестко закреплять на нем аппарат и к нему насильно притягивать трубопроводы. Аппарат должен быть зафиксирован на фундаменте (лучше всего на полукольцевых ложементах и еще лучше через резиновые прокладки), а затем к нему как можно точнее подгоняются трубопроводы.

### **Источники**

1. Алимкулова С.Р. Способ решения проблем энергосбережения в системе теплоснабжения // Научному прогрессу – творчество молодых. 2019. № 2. С. 73–74.
2. Сабирова Л.Р. Особенности применения индивидуальных тепловых пунктов в городе // Тинчуринские чтения – 2018: матер. XIII Междунар. молод. науч. конф. Казань, 2018. С. 203–206.
3. Горбунов К.Г. Проект перехода на индивидуальные тепловые пункты в сфере теплоснабжения // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России. 2019. № 1. С. 43–45.
4. Федотова А.О. Перспективные материалы для изготовления теплообменных аппаратов // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России. 2020. № 5. С. 183–185.

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

УДК 620.192.45

## ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Р.Р. Газитдинов, С.О. Гапоненко  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
atfir@mail.ru

Нарушение целостности канализационных и водопроводных труб представляет опасность с точки зрения рисков размыва грунта и ухудшения санитарно-эпидемиологической обстановки. Указанные обстоятельства требуют необходимости создания методики оценки технического состояния и остаточного ресурса трубопроводов.

**Ключевые слова:** диагностика, контроль технического состояния трубопроводов, неразрушающий контроль, акустический метод, анализ, энтропия.

При постоянной нагрузке и длительной эксплуатации трубопроводов возникают необратимые изменения структуры металла вследствие процессов деформационного старения и замедленного разрушения (постепенного снижения прочности при нормальных температурах) [1]. Для диагностирования этих изменений существуют разные методы контроля технического состояния трубопроводов, приоритетным направлением является неразрушающий контроль.

Неразрушающий контроль, в зависимости от физических явлений, положенных в его основу, подразделяется на: магнитный, электрический, вихретоковый, радиоволновой, тепловой, оптический, радиационный, акустический, проникающими веществами [2]. Для объектов систем теплоэнергетики на примере (трубопроводов). Наиболее распространены методы НК: магнитный, акустический и метод проникающими веществами. Наиболее перспективным из всех представленных методов является акустический метод неразрушающего контроля. Рассмотрим преимущества и недостатки акустического метода НК [3].

Преимущества:

- позволяет производить неразрушающий контроль изделий как из металлов, так и неметаллов;
- выявляет все виды дефектов в основном материале;
- безопасно для человека, высокая скорость производительности при низкой стоимости.

Недостатки:

- поверхность объекта должна быть подготовлена для введения ультразвука;
- трудность или невозможность контроля изделий малых размеров и сложной конфигурации.

Для осуществления методики контроля технического состояния трубопроводов был сконструирован информационно-диагностический комплекс. Состоящий из направляющая, опор, оснований с ножками, акустический излучатель, чувствительный элемент, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), цифро-аналоговой преобразователь (ЦАП), персональный компьютер (ПК) [4]. Преимуществом информационно-диагностического комплекса является диагностирования трубопровода любых диаметров и материала, возможность создавать любое давление на стенках трубопровода (имитация давления грунта).

Для проведения экспериментальных исследований создан виртуальный прибор разработанным в среде графического программирования «G» (LabVIEW).

Прибор предназначен для определения технического состояния трубопроводов в реальном режиме времени.

В приборе реализовано решения следующих задач:

- генерация резонансной частоты;
- возможность поиска и регистрации резонансной частоты;
- регистрация возбуждаемой частоты;
- запись полученного спектра в файл формата «.txt» с возможностью дальнейшего сравнения и анализа полученных результатов [5].

Для дальнейшего анализа может быть использован метод спектрального анализа, быстрого преобразования Фурье, информационно-энтропийный анализ сигналов [6].

Из представленных методов наиболее информативным является информационно-энтропийный анализ сигналов с помощью энтропии Шеннона и Колмогорова-Синяя.

Энтропия Шеннона: напрямую связана с вероятностью возникновения того или иного события. Отсюда вытекает его информативность – чем более предсказуемо событие, тем оно менее информативно. Значит и его энтропия будет стремиться к нулю [7].

Энтропия Коломогорова-Синяя: позволяет выявлять исследуемый режим – регулярный или хаотический. Если динамика системы является периодической или квазипериодической, то с течением времени расстояние  $d(t)$  не возрастает и КС-энтропия равна нулю ( $h = 0$ ). В случае хаотической динамики системы КС-энтропия больше нуля ( $h > 0$ ) [8].

### Источники

1. Гапоненко С.О. Акустико-резонансный информационно измерительный комплекс и методика контроля местоположения заглубленных трубопроводов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань: Казан. гос. энергет. ун-т, 2017. 22 с.

2. Каневский И.Н., Сальникова Е.Н. Неразрушающие методы контроля: учеб. пособие. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2017. 243 с.

3. Матросова Ю. Неразрушающий контроль качества материалов. М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2019. 148 с.

4. Гапоненко С.О. Определение информативных частотных диапазонов для контроля местоположения заглубленных трубопроводов // Научному прогрессу – творчество молодых. 2018. № 2. С. 68–71.

5. Ефимов А.Г., Шубочкин А.Е. Современные тенденции развития вихретоковой дефектоскопии и дефектометрии // Контроль. Диагностика. 2017. № 3. С. 68–73.

6. Захарова В.Е., Гапоненко С.О. Модальный анализ собственных колебаний стальных трубопроводов // Научному прогрессу – творчество молодых. 2020. № 2. С. 27–30.

7. Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е. Математическое моделирование колебательных процессов линейно-протяженных энергетических объектов // Научному прогрессу – творчество молодых. 2019. № 2. С. 94–96.

8. Захарова В.Е., Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е. Математическое моделирование низкочастотных диагностических вибрационно-акустических колебаний линейно-протяженных энергетических объектов ЖКХ // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. 2020. № 92. С. 257–263.

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОНОБЛОКОВ ДЛЯ СИСТЕМ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

А.О. Федотова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

nasty2505fedotova@mail.ru

Науч. рук. А.Е. Кондратьев

Приведены основные сведения о конструкции и работе моноблочных теплообменных аппаратов для систем горячего водоснабжения.

**Ключевые слова:** моноблок, двухступенчатая схема присоединения, система горячего водоснабжения.

Для качественного нагрева воды систем горячего водоснабжения применяют двухступенчатые схемы присоединения теплообменных аппаратов при соотношении нагрузки на горячее водоснабжение (ГВС) и отопления в пределах 0,2–1, т. е. в интервале  $0,2 < Q_{\text{ГВС}} / Q_{\text{от}} < 1$ . Такой способ позволяет снизить расход греющего теплоносителя посредством использования теплоты обратной воды из системы отопления [1]. Специально сконструированный для двухступенчатой схемы присоединения систем горячего водоснабжения пластинчатый теплообменник называется моноблоком.

Модель представляет собой два теплообменника, расположенных в одном корпусе, между которыми монтируется специальная пластина с двумя портами, служащая для перенаправления потоков теплоносителя. Такой вид теплообменника имеет 6 патрубков и может одновременно работать с 4 средами: нагреваемым и греющим теплоносителями, циркуляционной средой и обратной водой из системы отопления.

Работа осуществляется следующим образом: в первой ступени происходит первичный подогрев холодной водопроводной воды (до 20–30 °С) за счет обратной воды из системы отопления. Окончательный догрев до необходимой температуры происходит во второй ступени моноблока посредством воды из тепловой сети [2].

Достоинствами такого устройства являются: пониженный расход теплоносителя, компактность, по сравнению с применением отдельных двух ступеней теплообменных аппаратов, меньшая цена, а также пониженные эксплуатационные расходы.

Однако, несмотря на явные преимущества применения таких моделей, имеется ряд недостатков:

– сложность монтажа. На первый взгляд кажется, что смонтировать один аппарат намного проще, чем два, однако, ввиду наличия 6 патрубков подвода и отвода теплоносителя и близкого их расположения, конструкция опутана трубопроводами, арматурой и измерительными приборами. Все это усложняет проведение сварочных и монтажных работ для подключения теплообменника к инженерным сетям;

– сложность обслуживания. К задней плите моноблока присоединены два патрубка, соединяющие его с трубопроводами, что делает конструкцию неподвижной. Помимо этого, возникают сложности при попытке разборки теплообменника [3];

– пониженная надежность. Это объясняется тем, что при выходе из строя агрегата, он должен быть выведен из работы, а при наличии двух отдельных ступеней-теплообменников, было бы возможно частично обеспечивать заданную нагрузку на горячее водоснабжение [4];

– сложность создания конструкции, отвечающей требованиям по эффективной передаче теплоты разных ступеней. Это, например, объясняется тем, что в моноблоке в обеих ступенях применяются пластины одного типа, тогда как для их работы необходимы разные требования. Для первой ступени необходимо обеспечить пропускную способность суммарного расхода теплоносителя системы отопления и второй ступени ГВС при малых значениях гидравлических сопротивлений и среднем теплосъеме, а для второй ступени – небольшие расходы греющего теплоносителя и воды ГВС при больших значениях гидравлических сопротивлений и большем теплосъеме [5]. Т. е., при наличии двух отдельных теплообменных аппаратов теплообменник первой ступени должен был бы быть снабжен патрубками с большими диаметрами и малыми по длине пластинами, а второй ступени – с меньшими диаметрами и длинными пластинами [6].

Таким образом, необходимо найти оптимальное соотношение между стоимостью, надежностью и эффективностью работы и подобрать аппарат, обеспечивающий данные требования [7].

### **Источники**

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

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

3. Федотова А.О. Перспективные материалы для изготовления теплообменных аппаратов // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России. 2020. № 5. С. 183–185.

4. Горбунов К.Г. Проект перехода на индивидуальные тепловые пункты в сфере теплоснабжения // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России. 2019. Ч. 1. С. 43–45.

5. 05.06-19И.119П Моноблочный теплообменник // РЖ 19И. Общие вопросы химической технологии. 2005. № 6.

6. Алимкулова С.Р., Кондратьев А.Е. Схемы подключения индивидуального теплового пункта к тепловой сети // Молодежная наука в XXI в.: традиции, инновации, векторы развития: матер. Междунар. науч.-исслед. конф. молодых ученых, аспирантов, студентов и старшеклассников. 2018. С. 158–159.

7. Сабирова Л.Р. Особенности применения индивидуальных тепловых пунктов в городе // Тинчуринские чтения – 2018: матер. XIII Междунар. молод. науч. конф. Казань, 2018. Т. 2. С. 203–206.

УДК 697.1

## **ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ В МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ**

Р.Р. Хакимова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

railya.xakimova@mail.ru

Науч. рук. А.Р. Загретдинов

В тезисе рассмотрен вопрос применения современных инженерных решений для повышения энергоэффективности систем отопления много квартирных жилых зданий. Обоснована актуальность данного вопроса, обусловленная географическими и демографическими факторами нашей страны. Рассмотрены актуальные методы повышения энергетической эффективности систем отопления жилых зданий, среди которых особое место занимают энергетические установки нетрадиционной энергетики.

**Ключевые слова:** энергосбережение, энергоэффективность, теплоснабжение, жилые здания, современные технологии.



Вопрос повышения энергоэффективности систем теплоснабжения является актуальным на сегодняшний день. Особенно в отношении объектов многоквартирного жилого строительства. Такое внимание к вопросу энергоэффективности систем теплоснабжения обусловлено несколькими факторами. Во-первых, большая часть России расположена в таких климатических условиях, что теплоснабжение является важным и необходимым элементом обеспечения бытовых условий в жилых зданиях. Во-вторых, высокая численность населения страны и, соответственно, численность населения крупных городов обуславливает большой сектор потребителей тепловой энергии, представленный жилищно-коммунальными хозяйствами [1].

Таким образом, применение энергоэффективных технологий позволит значительно снизить нагрузку на энергетическую систему в области теплоснабжения и снизить стоимость данных услуг для конечного потребителя. Современный уровень развития технологий способствует активному внедрению различных инновационных решений в систему энергообеспечения и, в частности, повышения энергетической эффективности систем отопления в жилых зданиях [2].

Среди актуальных методов повышения энергоэффективности жилых зданий можно выделить следующие:

- минимизация энергетических потерь здания;
- автоматизация энергетического оборудования потребителя;
- применение приборов индивидуального учета потребления тепловой энергии с возможностью регулирования мощности отопительного прибора;
- внедрение элементов нетрадиционной энергетики в систему теплоснабжения здания.

Рассмотрим подробнее каждый из методов.

Метод минимизации энергетических потерь здания заключается в использовании теплоизоляции ограждающих конструкций, повышение герметичности дверных и оконных проемов, а так же устранение участков избыточной инфильтрации помещений.

Описанный выше подход позволит снизить потери тепла, однако его эффективная работа во многом зависит от работы системы регулирования. При этом обеспечение комфортных условий требует частой и тонкой подстройки системы теплоснабжения. Для этого применяются системы автоматизации с возможностью регулирования параметров системы теплоснабжения в зависимости от температуры наружного воздуха и температуры в жилых помещениях.

Еще одним не менее важным способом повышения энергетической эффективности систем отопления является применение индивидуальных приборов учета расхода тепловой энергии, с возможностью регулирования мощности отопительного прибора. Интерес к таким системам связан с тем, что каждый потребитель может индивидуально выстраивать необходимый уровень энергопотребления как с точки зрения комфорта, так и с точки зрения экономии.

Отдельно остановимся на методе, который подразумевает внедрение элементов нетрадиционной энергетики в систему отопления. На сегодняшний день доступны различные технологии в данном направлении.

Существуют технологии геотермального направления, которые используют тепло грунтовых масс или вод, температура которых при достаточном заглублении может обеспечивать определенный эффект, который может быть использован в качестве вспомогательного.

Так же сегодня актуально применение воздушных тепловых насосов, такие системы гораздо проще с аппаратной точки зрения, но имеют более узкий диапазон работы, их применение, как правило, приходится на переходные периоды, когда нагрузка на отопление находится на достаточно низком уровне. Отдельно отметим возможность реверсивной работы таких систем и использование их в качестве кондиционирующих установок. В качестве элемента данного направления можно так же рассмотреть рекуперативные системы, позволяющие утилизировать теплоту уходящего воздуха и использование ее для подогрева приточного.

Менее распространены системы с применением солнечных коллекторов, устройств в которых циркулирует теплоноситель и подогревается за счет лучистой энергии солнечного излучения. Такие системы могут быть использованы как самостоятельно, так и в комплексе с тепловым насосом, что повышает его эффективность. Однако такие системы практически не применяются для многоэтажных жилых зданий в виду большого объема системы теплоснабжения и продолжительным периодом выхода на рабочие параметры.

Имеется опыт применения солнечных панелей и ветрогенераторов, данная категория энергетических установок вырабатывает электрическую энергию, которую теоретически можно использовать для нужд теплоснабжения, однако такие установки нуждаются в системе накопления электрической энергии. При это для жилых многоквартирных зданий требуется большое количество энергии, соответственно необходимо нерационально большое количество элементов-накопителей.

Таким образом, среди перспективных инженерных решений по повышению энергоэффективности систем отопления многоквартирных жилых зданий можно выделить такие, как минимизация энергетических потерь, выраженная в оптимизации тепловой изоляции, применение систем автоматизации с погодным регулированием, внедрением систем индивидуального учета потребления тепловой энергии, а также внедрение элементов нетрадиционной энергетики. При этом среди установок нетрадиционной энергетики наиболее перспективными являются геотермальные системы и тепловые насосы.

### **Источники**

1. Анай-Оол А.В., Саая С.С. Повышение энергоэффективности жилых зданий // Вестник Тувинского государственного университета. Вып. 3. Технические и физико-математические науки. 2020. № 4 (70). С. 6–14.

2. Ақиев А.Б., Сегеда Т.А. Мероприятия по повышению энергоэффективности жилых зданий // Научно-практические исследования. 2020. №. 5-8. С. 5–8.

УДК 620.164.3

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГРУНТОВ РАЗЛИЧНОГО ТИПА НА ПАРАМЕТРЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ТРУБОПРОВОДА**

В.Е. Чанчина, С.О. Гапоненко  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
veronika.zaharova.95@mail.ru, sogaponenko@yandex.ru  
Науч. рук. А.Е. Кондратьев

В представленной работе произведен модальный анализ собственных колебаний двух полиэтиленовых трубопроводов. В качестве исходных данных принято, что расчетный трубопровод уложен в траншею с наклонными стенками, заложение откоса на плоское основание на глубине равно 2,5 м. Расчеты произведены в программном комплексе конечно-элементного анализа ANSYS. С целью построения математической модели определена степень воздействия грунта на трубопроводы путем исследования вертикального и бокового давления грунта на вышеуказанные трубопроводы, исследованы собственные колебания трубопроводов.

По окончанию исследования представлены результаты модального анализа для полиэтиленовых труб при схеме укладки с наклонными стенками и различным грунте (Пески гравелистые, крупные и средней крупности; глины тяжелые). Выбор грунта обусловлен наибольшим распространением его на территории России.

**Ключевые слова:** надёжность, трубопровод, модальный анализ, собственные колебания.

Когда объект контроля оказывается под внешним воздействием, способным влиять на частоту собственных колебаний, происходит изменение параметров собственных колебаний, что повышает погрешность измерений, а зачастую и просто искажает результаты вибрационного контроля [1].

Для проведения анализа собственных колебаний трубопровода было смоделировано две полиэтиленовые трубы 355×8,7 и 630×15,4 (размеры в соответствии с ГОСТ 18599-2001 «Трубы напорные из полиэтилена»).

По заданным условиям моделирования трубопровод закреплен с двух сторон на расстоянии  $0,22L$ , где  $L$  – длина трубопровода [2].

Расчеты были произведены в программном комплексе конечно-элементного анализа ANSYS, который является универсальным и довольно популярным у специалистов в сфере автоматизированных инженерных расчётов с применением уникальных методик [3].

В качестве исходных данных были приняты параметры полиэтиленовых трубопроводов и двух типов грунтов. Выбор грунта обусловлен наибольшим распространением его на территории России [4]:

- грунт категории Г-I – пески гравелистые, крупные и средней крупности;
- грунт категории Г-VI – глины тяжелые.

Результаты расчетов частот собственных колебаний трубопроводов заданных параметров, без учета влияния грунта и с его учетом, освещены в таблице. В них представлены собственные частоты  $\nu$  [Гц] (моды с 1-й по 100-ю) различных типоразмеров трубопроводов без воздействия грунта (графа «←») и под воздействием грунтов типа Г-I и Г-VI.

### Результаты расчетов

Мода	Трубопровод метровый					
	355×8,7			630×15,4		
	–	Г-I	Г-VI	–	Г-I	Г-VI
1	12,608	11,096	10,598	4,6314	0	0
...	...	..	...	...	...	...
81	1007,4	1006,5	1005,4	588,23	586,49	586,25
82	1012,1	1007,9	1007,6	598,78	592,91	591,57
83	1019,1	1012,6	1011,4	600,1	593,29	591,92
84	1024,2	1019,2	1018,4	606,8	603,7	602,68
...	...	...	...	...	...	...
100	1192,8	1189,9	1188,9	678,47	676,49	676,09

Анализ полученных результатов показал, что частоты собственных колебаний свободных трубопроводов (без воздействия грунта) и заглубленных (с воздействием грунта) изменяются в сторону уменьшения значения, при этом более плотный грунт оказывает большее влияние [5].

Для наглядности на рисунке представлен график уменьшения частоты собственных колебаний трубопровода размером 355×8,7 в области частот от 1 005,4 до 1 024,2 Гц (моды с 81-й по 84-ю) [6].

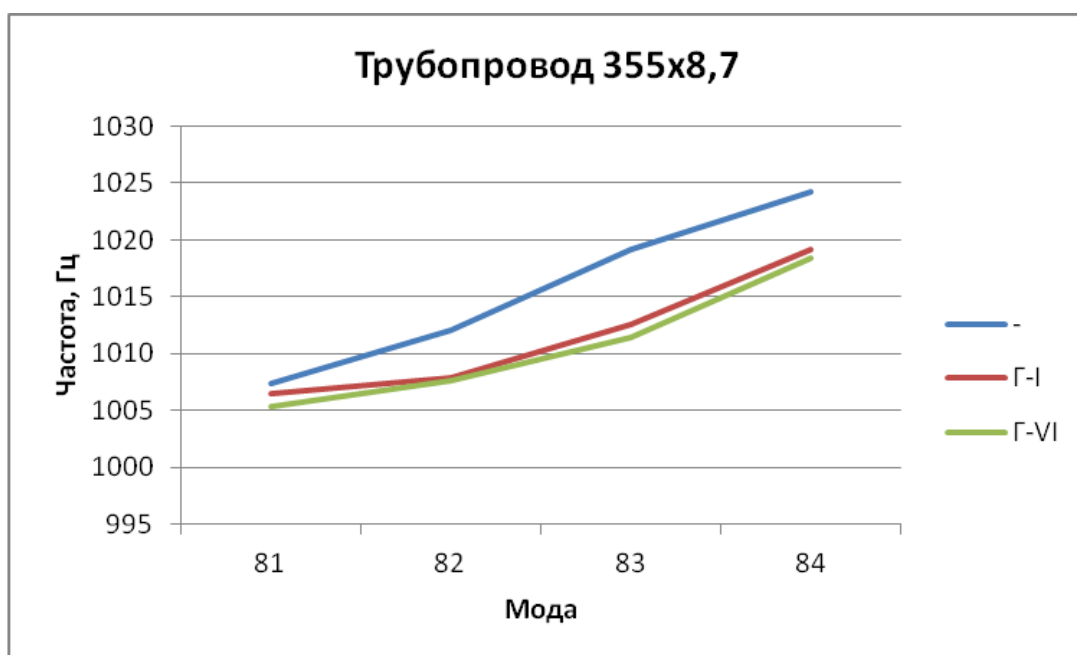


График изменения собственных частот колебаний трубопровода

### Источники

1. Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е. Методы контроля местоположения заглубленных трубопроводов // Тинчуринские чтения – 2018: тез. докл. XIII Междунар. молод. науч. конф. Казань, 2018. С. 157–160.
2. Способ определения расположения трубопроводов: пат. 2482515 Рос. Федерация № 2011151380/28; заявл. 15.12.2011; опубл. 20.05.2013, Бюл. № 14.
3. Оценка технического состояния подшипников качения виброакустическим методом / М.В. Акутин [и др.] // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2009. № 2. С. 55–57.
4. Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е. Перспективные методы и методики поиска скрытых каналов, полостей и трубопроводов виброакустическим методом // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2015. № 2 (47). С. 9–13.

5. Разработка методики определения размера коррозионного поражения оболочек акустическим методом / Ш.Г. Зиганшин [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. 2009. № 1 (57). С. 36–38.

6. Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е. Модельная установка для разработки способа определения местоположения скрытых трубопроводов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2014. № 7-8. С. 123–129.

УДК 620.19

## МОДАЛЬНЫЙ ДЕКРЕМЕНТ ЗАТУХАНИЯ КАК ИНФОРМАТИВНЫЙ ПАРАМЕТР В ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ ТРУБОПРОВОДОВ

Р.З. Шакурова<sup>3</sup>, А.Е. Кондратьев<sup>2</sup>, С.О. Гапоненко<sup>1</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>shakurova.rz@gmail.com, <sup>2</sup>aekondr@mail.ru, <sup>3</sup>sogaponenko@yandex.ru

Рассматриваются вопросы обеспечения безопасной и надежной работы промышленных и магистральных трубопроводов, приведены основные методы неразрушающего контроля, применяемые для диагностики трубопроводов. Проанализировано понятие декремента затухания и возможность его применения как информативного параметра при технической диагностике трубопроводов.

**Ключевые слова:** дефект, трубопровод, неразрушающий контроль, механические колебания, декремент затухания, техническая диагностика.

При эксплуатации трубопроводов нередко возникают аварийные ситуации: прорывы, утечки и разливы продуктов перекачки. Аварии возникают вследствие наличия и развития в структуре трубопровода дефектов различного типа: надрывы, царапины, трещины, надрывы, свищи, микротрещины, подрез зоны сплавления, шлаковые включения и т. д. [1].

Актуальным является вопрос обеспечения безопасной работы промышленных и магистральных трубопроводов различными методами [2]. Основной проблемой управления и ремонта трубопроводов является управление обслуживанием, предназначенным восстанавливать изменяющиеся в процессе эксплуатации основные параметры надежности трубопровода, предупреждать его разрушение, снижение эффективности и нарушение правил охраны окружающей среды. Для оценки надежности трубопроводов применяют различные диагностические системы [3].

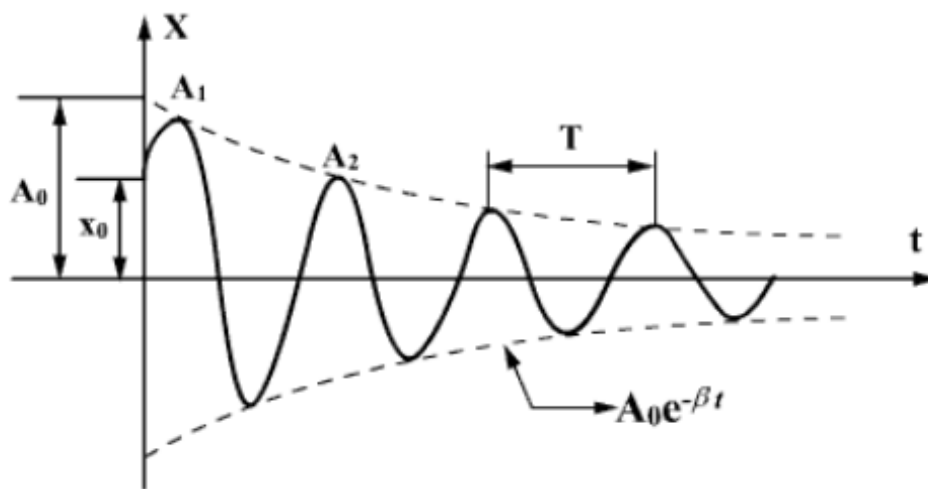
Трубопроводы работают под большим давлением, поэтому при нарушении их герметичности происходит большой выброс продукта перекачки в окружающую среду, что несет за собой не только значительный материальный ущерб от потери продукта перекачки, затрат на ликвидацию аварии, штрафные санкции, но и приводит к загрязнению окружающей среды, в особенности когда речь идёт о нефти и газопроводах.

Для технической диагностики состояния трубопроводов применяют методы неразрушающего контроля, наиболее распространёнными из которых являются [4]: ультразвуковая диагностика; методы акустической эмиссии, магнитной памяти металла и контроля напряжений; тепловой контроль; вибродиагностика.

Перечисленные методы позволяют другие методы НК контроля могут эффективно применяться для предупреждения аварий и контроля состояния [5].

Для оценки технического состояния целесообразно использовать информативные параметры, отличающиеся высокой избирательностью, применимые к объектам, состоящим из различных материалов, и позволяющие в короткие сроки преобразовать тестовую информацию в диагностическую. Одним из таких информативных параметров является модальный декремент затухания, подразумевающий анализ диссипации колебательной энергии затухающих колебаний трубопровода. Такие колебания можно возбуждать в трубопроводе различными инерциальными устройствами [6].

Затухающие колебания – колебания, при которых амплитуда колебаний уменьшается с течением времени, что обусловлено потерей энергии колебательной системой (см. рисунок).



Затухающие колебания:  $A_0$  – начальная амплитуда колебаний;  $T$  – период колебаний;  $\beta$  – коэффициент затухания;  $t$  – время

Коэффициент затухания  $\beta$  определяет насколько быстро уменьшается амплитуда колебаний с течением времени.

Декремент затухания  $\lambda$  – количественная характеристика быстроты затуханий колебаний в линейной системе. Декремент затухания представляет собой величина, равная натуральному логарифму отношения амплитуд затухающих колебания в моменты времени, разделенные промежутком в один период  $T'$ :

$$\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T')} = \frac{A_0 e^{-\beta(t)}}{A_0 e^{-\beta(t+T')}} = \ln e^{\beta T'} = \beta T'.$$

Таким образом, декремент затухания – величина, обратная числу колебаний, по истечении которых амплитуда убывает в  $e$  раз.

Амплитуда затухающих колебаний трубопровода уменьшается за счет нормальной диссипации колебательной энергии при прохождении волны через твердое тело. Кроме того, амплитуда колебаний уменьшается вследствие уменьшения модуля упругости материала. Учитывая тот факт, что любой дефект, внутренний или поверхностный, является нарушением сплошности и упругости материала, то любой дефект приводит к уменьшению модуля упругости, и в месте дефекта диссипация колебательной энергии происходит быстрее.

Таким образом, анализируя степень затухания упругого колебания, можно судить о наличии дефекта в объекте контроля.

## Источники

1. Information-measuring system for monitoring the location of underground gas pipelines on the basis of improved acoustic resonance method [Электронный ресурс] / А.Е. Kondratiev [et al.]. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1328/1/012055/pdf> (дата обращения: 12.03.2021).

2. Виброакустический способ оценки технического состояния проводящих инженерных коммуникаций: пат. 2734724 Рос. Федерация № 2020114188; заявл. от 20.04.2020; опубл. 22.10.2020, Бюл. № 30.

3. Информационно-диагностический комплекс для контроля технического состояния трубопроводов: пат. 2713563 Рос. Федерация № 2019114353; заявл. 07.05.2019; опубл. 05.02.2020, Бюл. № 4.



4. Гапоненко С.О., Шакурова Р.З. Совершенствование методики контроля технического состояния оборудования энергетических систем и комплексов // Туполевские чтения – 2019: матер. XXIV Междунар. молод. науч. конф. (школа молодых ученых)». Казань, 2019.

5. Шакурова Р.З., Гапоненко С.О. Разработка надёжного и энергоэффективного способа диагностики технического состояния энергетического оборудования // Научному прогрессу – творчество молодых. 2019. № 2. С. 195–197.

6. 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 Междунар. науч. семинара им. Ю.Н. Руденко. Казань, 2020. С. 276–282.

### Секция 3. ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.311

#### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Р.И. Акчулпанов, Э.И. Сайфуллина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

rus.lindemann17@gmail.com

Науч. рук. И.Н. Маслов

Рассматриваются основные типы тепловых насосов, их оборудование и принцип работы, а также их внедрение на промышленные предприятия.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка, тепловой насос, хладагент.

Теплоснабжение – это одна из наиболее важных проблем в энергетике. В научных кругах остро стоит вопрос нахождения экологичного и при этом эффективного способа добывания энергии. Проблема является актуальной, так как идёт активный рост цен на ископаемое топливо и повышаются экологические требования к энергетическим предприятиям. Использование тепловых насосов в энергетике является рациональным решением, так как применяются только возобновляемые источники энергии. Источниками тепловой энергии могут быть грунт, воздух, водные ресурсы. На выработку 5 кВт·ч тепловой энергии необходимо всего 1 кВт·ч электроэнергии. Таким образом, тепловые насосы имеют большой потенциал развития в области альтернативной энергетики [1–3].

Классификация тепловых насосов и их оборудование: «воздух–вода» и «воздух–воздух».

Конструкция «воздух–вода» включает в себя четыре главных компонентов: наружный блок, ёмкость теплообменника-испарителя, конденсатор, блок для компрессора. Рабочим веществом является воздух. На улице установлен наружный блок, через который воздух по трубам попадает в испаритель. Здесь хладагент, получая тепло от воздуха, становится газообразным (хладагент закипает при отрицательной

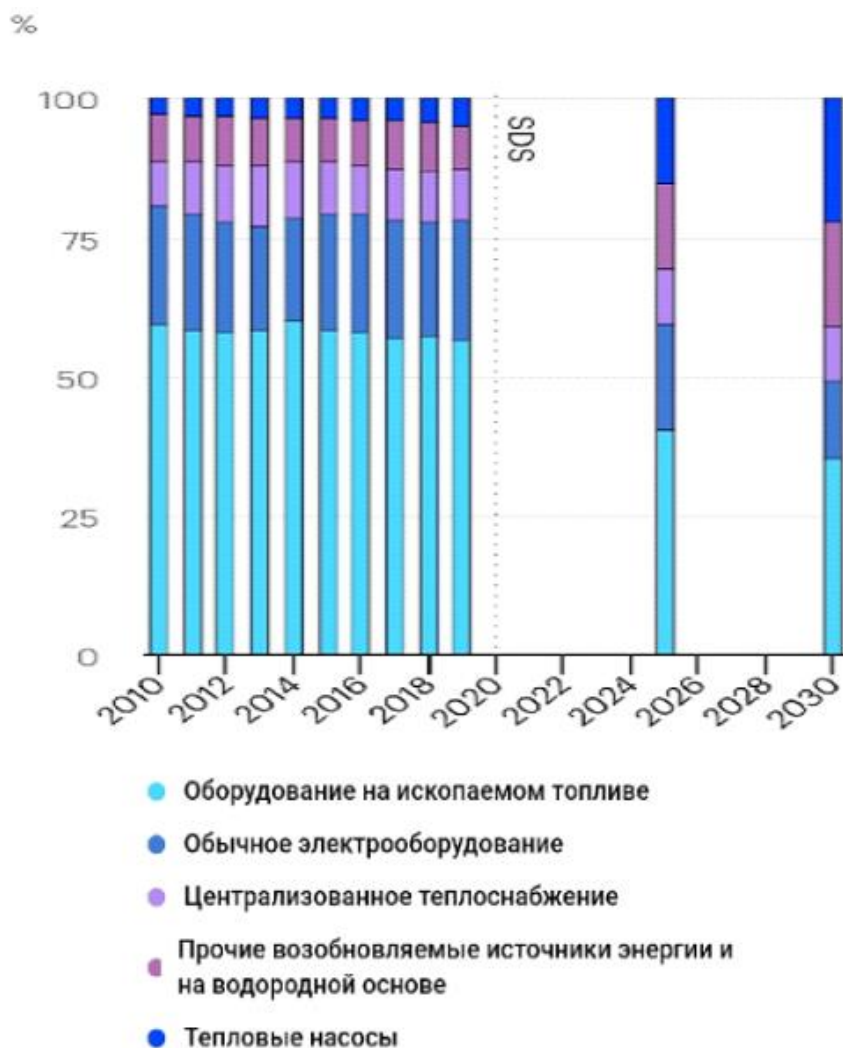
температуре) и переносится в компрессор. Газ сжимается под действием компрессора, тем самым увеличивается его температура. Далее, нагретый хладагент поступает в конденсатор, где отдаёт воде тепло, которую можно применять для теплоснабжения помещения. Хладагент распыскивается через дроссель, вследствие чего принимает жидкое состояние, так как понижается его температура. В таком виде он поступает в испаритель. Процесс зацикливается.

ТНУ типа «воздух–воздух» состоит из внешнего блока(компрессор, испаритель с вентилятором внешнего обдува, дроссельный клапан) и внутреннего блока(медные трубки, конденсатор). Вентилятор вытягивает с улицы воздух в наружный блок, в котором проходит через внешний испаритель. Хладагент, который циркулирует по теплообменнику, поглощает тепловую энергию воздуха, после чего превращается в газ и сжимается в конденсаторе. Далее газ, проходя по медным трубам поступает во внутренний блок. Хладагент снова превращается в жидкость, так как отдаёт своё тепло помещению. Жидкий хладагент под действием дроссельного клапана снова отправляется в испаритель.

Геотермальный тепловой насос состоит из конденсатора, испарителя, дроссельного клапана, компрессора. Эти компоненты связаны замкнутым трубопроводом, в котором циркулирует хладагент [4, 5]. В жидком состоянии под низким давлением хладагент поступает в испаритель, где начинает кипеть, так как получает тепло от теплоносителя, который использует низкопотенциальную энергию грунта. Хладагент переходит в газообразное состояние. Конденсатор сжимает газ, тем самым повышая его температуру. Теплый газ поступает в конденсатор и оттуда переходит в систему отопления. Газ превращается в жидкость, так как отдаёт своё тепло. На последнем этапе жидкий хладагент проходит сквозь узкое отверстие дроссельного клапана. Давление и температура жидкости снижается. Теперь хладагент снова готов к повторению цикла.

Тепловые насосы имеют большие перспективы (см. рисунок). В 2019 г. почти 20 млн домашних хозяйств приобрели тепловые насосы. Рост особо виден в Северной Америке, Европе и Северной Азии. Несмотря на рост популярности тепловых насосов, они удовлетворяют лишь 5 % мировой потребности в отоплении здания, так они в основном устанавливаются в новостройках. Для повышения популярности необходимы

дальнейшая политическая поддержка и инновации для снижения затрат на предварительную закупку и установку, устранения рыночных барьеров для ремонта и повышения энергоэффективности. По данным IEA (Международное Энергетическое Агентство) доля домохозяйств, приобретающих тепловые насосы для отопления и производства горячей воды должна утроится в отдельных регионах.



Перспективы тепловых насосов

### Источники

1. Марьян Г.Е., Менделеев Д.И., Гайнутдинов Р.Р. Анализ влияния основных параметров паротурбинного цикла на эффективность работы бинарных ПГУ // Электроэнергетика глазами молодежи – 2019: матер. юбил. X Междунар. науч.-техн. конф. Иркутск, 2019. Т. 1. С. 276–279.

2. Актуализация расчетных электрических нагрузок с последующим практическим применением на примере Республики Татарстан / Ю.И. Солуянов [и др.] // Промышленная энергетика. 2021. № 2. С. 32–40.

3. Энергосберегающие решения в распределительных электрических сетях на основе анализа их фактических нагрузок / Ю.И. Солуянов [и др.] // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № 5 (62). С. 68–73.

4. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е. Исследование влияния состояния оборудования блоков ПГУ и режимов их работы на выполнение заданного графика выработки электроэнергии // Энергия – 2018: матер. 13-й Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Иваново, 2018. Т. 1. 7 с.

5. Марьин Г.Е., Осипов Б.М. Критерии выбора составов топлив при их сжигании в газотурбинных установках с незначительными переделками топливной системы // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24, № 2 (151). С. 356–365.

УДК 621.311

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В ИНДОНЕЗИИ**

Д.И. Демократиа<sup>1</sup>, Е.Д. Локтионов<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>immanueljc19@gmail.com, <sup>2</sup>loktionov-1999@bk.ru

Науч. рук. А.Р. Ахметшин

Моделируется газовая электростанция, рабочая система которой сочетается с новой и возобновляемой энергией. Новая и возобновляемая энергия, которая будет использоваться – это ветровая и солнечная энергия. Природа доступности ветровой и солнечной энергии носит лишь временный характер, поэтому она не может устойчиво удовлетворять потребности в электрической нагрузке. Объединяя ветровую и солнечную энергию в газовую систему выработки электроэнергии, можно надеяться, что она сможет создать систему выработки электроэнергии, способную эффективно работать.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка, ветровая энергия, солнечная энергия, повышение эффективности.

В Индонезии до 2018 г. насчитывалось более 72 млн потребителей, включая домашних хозяйств, промышленных потребителей, бизнес-клиентов, правительственные здания и клиентов уличного освещения. Количество потребителей электроэнергии в 2018 г. увеличилось на 5,65 % по сравнению с 2017 г. [1].

Прогноз Национального энергетического совета Республики Индонезия, предполагает увеличение спроса на электроэнергию до 2,214 ТВтч к 2050 г. Спрос на электроэнергию определяется несколькими основными факторами, а именно экономическим ростом, ростом населения, тарифами на электроэнергию, программами электрификации и государственными программами [2, 3]. Министерство энергетики и минеральных ресурсов спрогнозировало, объем генерирующих мощностей необходимый к 2050 г. который равен 552,5 ГВт [4].

Энергетический сектор внес 40 % или эквивалент 453,2 млн т CO<sub>2</sub>e от общего объема национальных выбросов парниковых газов в 2010 г. В энергетическом секторе одним из самых больших источников выбросов является сжигание ископаемого топлива на электростанциях [5, 6]. Первоначальные усилия по сокращению выбросов парниковых газов должны быть сосредоточены на подсекторе электроэнергетики по нескольким причинам. Во-первых, большинство электростанций Индонезии все еще используют ископаемое топливо, особенно уголь. Угольная электростанция вносит вклад в выбросы 122,5 млн т CO<sub>2</sub>e или 70 % всех выбросов электростанций [8]. Выбросы электростанций, по прогнозам, удвоятся к 2028 г. до 351,3 млн т CO<sub>2</sub>e, где вклад выбросов ПТУ достигает 301,3 млн т CO<sub>2</sub>e или 86 % от общего объема выбросов электростанций [6, 7].

Второе усилие – это новые и возобновляемые технологии производства электроэнергии широко доступны и становятся все более экономичным. Использование ветровой и солнечной энергии в качестве производства электроэнергии может помочь сократить выбросы парниковых газов. В соответствии с Национальным генеральным планом в области электроэнергетики (RUKN) на 2019–2038 гг., цель по сочетанию новой и возобновляемой энергии в 2025 г. составит 23 % и к 2050 г. составит 31 % [8].

Индонезия имеет климат, который потенциально может быть рассмотрен как источник солнечной и ветровой энергии. Потенциал солнечной энергии в Индонезии очень велик, он составляет около 4,8 кВтч/м<sup>2</sup> или эквивалентен 112 000 ГВт. В Индонезии было проведено исследование ветровой нагрузки, скорость ветра колеблется от 2,2 до 7,5 м/с.

В данном исследовании будет смоделирована система газовой электростанции, работающая в сочетании с новой и возобновляемой энергетикой (см. рисунок). Новая и возобновляемая энергия, которая будет использоваться это энергия ветра и солнца. Однако наличие энергии ветра и солнца является лишь временным, чтобы не иметь возможности устойчиво обеспечивать энергией электростанцию.

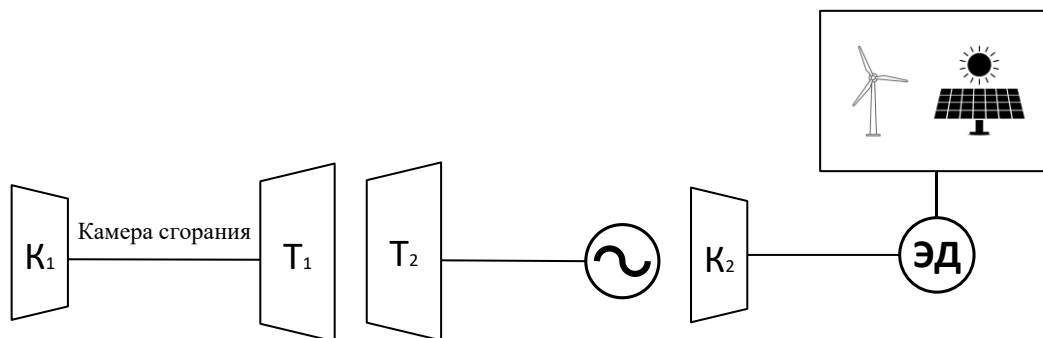


Схема ГТУ в сочетании с ветровой и солнечной энергией:  $K_1$  и  $K_2$  – компрессоры;  $T_1$  и  $T_2$  – турбины; ЭД – Электрический двигатель

В газовую электростанцию будет добавлен электропривод, который работает за счет использования энергии ветра и солнца. Электропривод соединен с компрессором, так что компрессор будет работать при наличии энергии ветра и солнца. Работа  $K_2$  в этой системе направлена на отсасывание воздуха из  $T_2$ . Когда  $K_2$  работает, давление воздуха перед турбиной будет уменьшаться. Таким образом, перепад давления воздуха за и перед  $T_2$  будет больше. Вместе с увеличением перепада давления, газовая турбина будет вырабатывать мощность еще больше.

Смоделированная здесь генерирующая система, как ожидается, увеличит выходную мощность и КПД газовой электростанции. Кроме того, моделируемая здесь система выработки электроэнергии также должна иметь низкие выбросы, поскольку она использует природный газ, а также ветровую и солнечную энергию.

### Источники

1. «Статистика электроэнергетики 2018» [Электронный ресурс] // Ministry of Energy and Mineral Resources (Indonesia). URL: <http://www.esdm.go.id/> (дата обращения: 16.01.2021).

2. Актуализация расчетных электрических нагрузок с последующим практическим применением на примере Республики Татарстан / Ю.И. Солуянов [и др.] // Промышленная энергетика. 2021. № 2. С. 32–40.

3. Энергосберегающие решения в распределительных электрических сетях на основе анализа их фактических нагрузок / Ю.И. Солюянов [и др.] // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № 5 (62). С. 68–73.

4. «Прогноз развития энергетики Индонезии» // Ministry of Energy and Mineral Resources (Indonesia). URL: [http:// www.esdm.go.id/](http://www.esdm.go.id/) (дата обращения: 16.01.2021).

5. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е. Исследование влияния состояния оборудования блоков ПГУ и режимов их работы на выполнение заданного графика выработки электроэнергии // Энергия – 2018: матер. 13-й Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Иваново, 2018. Т. 1. 7 с.

6. 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.

7. Марьин Г.Е., Менделеев Д.И., Гайнутдинов Р.Р. Анализ влияния основных параметров паротурбинного цикла на эффективность работы бинарных ПГУ // Электроэнергетика глазами молодежи – 2019: матер. юбилейной X Междунар. науч.-техн. конф. Иркутск, 2019. С. 276–279.

8. «Национальный генеральный план электроэнергетики 2019 – 2038 гг.» // Ministry of Energy and Mineral Resources (Indonesia). URL: [http:// www.esdm.go.id/](http://www.esdm.go.id/) (дата обращения: 16.01.2021).

УДК 621.18+539.21

## МЕХАНИЗМ ЗАРОЖДЕНИЯ МИКРОТРЕЩИН ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ШИРМОВОГО ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ

Ю.Н. Дорофеев<sup>1</sup>

Филиал ФБГОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском  
<sup>1</sup>dorofeevyury1861@yandex.ru, <sup>2</sup>vikulkov@yandex.ru

Науч. рук. В.Г. <sup>2</sup>Кульков

Рассматриваются вопросы постепенного износа теплоэнергетического оборудования на примере ширмового перегревателя. В процессе эксплуатации в поликристаллическом сплаве материала перегревателя образуются микронесплошности. Причиной этого процесса является межзеренное проскальзывание по плоским или ступенчатым границам. С целью подавления этого процесса предлагается использование сплавов с примесями, осаждающимися на границах зерен, либо приведение границ в фасетированное состояние.

**Ключевые слова:** ширмовый пароперегреватель, границы зерен, межзеренное проскальзывание, микронесплошности.



Процесс эксплуатации энергетических установок ТЭС сопровождается их постепенным износом и старением, накоплением различного рода дефектов, затрудняющих их длительную эксплуатацию в связи с появлением внеплановых остановов. Проявление таких факторов как ненадёжная работа, снижение технических характеристик, интенсивный износ отдельных узлов накладывают ограничение на располагаемую электрическую мощность электростанции, а также способствуют росту трудозатрат на ремонтно-восстановительные работы и внеплановые пуски резервного оборудования. Стоит отметить, что энергетические установки эксплуатации которых осуществляется после выработки паркового ресурса наиболее подвержены значительным изменениям паспортных характеристик.

Проблемы сохранения надёжной и эффективной работы энергоустановок приводят к существенному росту общих затрат предприятия на поддержание основных производственных фондов задача которых заключается в снижении объёма затрат на ремонтно-восстановительные мероприятия энергетического оборудования. Увеличение объёма затрат предприятием на капитальные, монтажные и аварийно-восстановительные ремонты в обстановке общего дефицита денежных средств наиболее остро ставит вопрос о принятии мер по повышению надёжности эксплуатируемых энергоустановок.

Разрушение или отказ основных элементов энергоустановок вызванный теми или иными факторами в большинстве случаев приводят к полному отказу установки и невозможности её дальнейшей эксплуатации. Для котельных установок таким элементом является ширмовый пароперегреватель [1]. На котлах серии ТГМ-84Б ширмовый пароперегреватель наиболее подвержен высокотемпературному радиационно-конвективному воздействию вследствие расположения поверхности нагрева в переходе между топочной камерой и конвективной шахтой. Дымовые газы – продукты сжигания газового (мазутного) топлива в котле оказывают термическое воздействие на металл ширм, тем самым ускоряя процессы формирования точечных дефектов в кристаллической решетке [2]. Кроме того, дымовые газы способствуют протеканию высокотемпературных коррозионных процессов, поскольку в их состав входят сильные окислители: сера и азот. Ширмовая поверхность нагрева котлоагрегата также подвергается интенсивному разрушающему воздействию вследствие ненормальной в работы системы регулирования температуры металла, переходных процессов. В результате в металле ширм образуются микротрещины, постепенно перерастающие в свищи с последующим

разрывам участка труб змеевика и как следствие внеплановым останом котла. В связи с этим поиск новых методов технического решения проблем надёжности котельных установок является актуальным направлением исследования.

Известно [3], что одним из весьма существенных механизмов пластической деформации металла или сплава в поликристаллическом состоянии является межзеренное проскальзывание. В случае плоского напряженного состояния, с которым мы имеем дело в данном случае, компоненты тензора напряжения по двум главным осям не равны между собой. Это означает, что имеются оси координат, в которых тензор напряжения имеет сдвиговые компоненты. Если вдоль таких осей располагаются плоские сегменты границ зерен, то вдоль них происходит межзеренное проскальзывание.

Часто межзеренное проскальзывание моделируют двусторонним скоплением дислокаций, подобно тому, как это имеет место в случае сдвиговой трещины. Барьеров для головной дислокации может являться тройной стык зерен. Известно [4], что в голове скопления действует сдвиговое напряжение большой величины. К области тройного стыка примыкают локальные участки границ, являющихся наиболее «рыхлыми», здесь силы межзеренного сцепления ослаблены по сравнению с удаленными участками. Поэтому в таких местах чаще всего и образуются микронесплошности, постепенно развивающиеся и переходящие в зародыши трещин [5]. Этому способствуют коррозионные процессы в области границы, выходящей на поверхность, о чем сказано было выше. Кроме того, межзеренная граница в реальном материале не всегда бывает плоской или достаточно плавно искривленной. Она часто содержит такие несовершенства как ступеньки различной высоты. Эти ступеньки, если между ними имеются достаточно протяженные плоские участки границы, также являются стопорами для скользящих вдоль границы зернограничных дислокаций. Такие ступеньки также являются местами зарождения микронесплошностей [6].

Дальнейшие процессы, сопровождающие подрастание образовавшихся микротрещин, могут носить силовой или диффузионный характер. В первом случае трещина растет благодаря возникновению в ее вершине концентратора напряжений и задача решается методами механики разрушения [7]. Во втором случае решаются диффузионные задачи для вакансий со стоками в объеме трещины, составляющие содержание физики разрушения [8].

Скорость межзеренного проскальзывания  $v$  в зависимости от величины приложенного напряжения  $\sigma$  дается выражением:

$$v = \eta^{-1} \sigma, \quad (1)$$

где  $\eta$  – вязкость границы. Для уменьшения вероятности возникновения зародышей трещин необходимо увеличить вязкость межзеренных границ по отношению к межзеренному проскальзыванию. Этого можно добиться следующими способами.

Во-первых, можно увеличить вязкость путем введения примесей в материал и их последующей сегрегации вдоль границ. Такой метод упрочнения обусловлен возникновением распределенных в границе атомных стопоров, что ведет к увеличению времени их ликвидации, а значит, и уменьшению скорости проскальзывания. Во-вторых, можно уменьшить скорость скольжения путем преобразования структуру границ от плоских к фасетированным или ступенчатым. Вязкость границы  $\eta'$  в этом случае [6] определяется выражением:

$$\eta' = \eta + \frac{kTd^2}{4CD\Omega^2\delta}, \quad (2)$$

где  $d$  – высота ступенек  $C$  равновесная концентрация вакансий в границе;  $D$  – зернограницный коэффициент их диффузии;  $\Omega$  – атомный объем;  $\delta$  диффузионная ширина границы. Оба эти процесса возможно реализовать на стадии приготовления материала или изготовлении изделия с применением соответствующей химико-термической обработки.

### Источники

1. Типовое руководство по эксплуатации паровых котлов высокого и сверхкритического давления ТЭС [Электронный ресурс] / В.М. Калиничев [и др.] // Инженерная библиотека в области промбезопасности. С. 26–35. URL: <https://library-full.nadzor-info.ru/doc/51167> (дата обращения: 15.02.2021).

2. Герасимов В.В., Переверзева О.В. Механические характеристики и энергия активации деградации перлитной жаропрочной стали 12Х1МФ при высоких температурах // Проблемы энергетики. 2010. № 7 С. 117 – 123.

3. Кульков В.Г. Релаксационные процессы на границах зерен в металлах. Волжский: Филиал МЭИ в г. Волжском, 2015. 162 с.

4. Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций. М.: Атомиздат, 1972. 599 с.
5. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов. М.: Металлургия, 1979. 495 с.
6. Кульков В.Г., Васильева Ю.В. Образование микронесплошностей в процессе скольжения по ступенчатой границе зерен // Тяжелое машиностроение. 2009. № 6. С. 32–35.
7. Партон В.З. Механика разрушения: От теории к практике. М.: Изд-во ЛКИ, 2007. 240 с.
8. Гегузин Я.Е. Физика спекания. М.: Ленанд, 2019. 312 с.

УДК 62-621.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ CO<sub>2</sub> В ПРОДУКТАХ ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ В ТОПЛИВЕ МЕТАНО-ВОДОРОДНОЙ ФРАКЦИИ

П.В. Дунаев<sup>1</sup>, В.И. Яшанин<sup>2</sup>, К.О. Салимов<sup>3</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>dpv89@mail.ru, <sup>2</sup>vlad1997306@gmail.com, <sup>3</sup>Kamil.salimov2019@gmail.com

Науч. рук. М.А. Таймаров

Произведен расчет горения смеси природного газа с метано-водородной фракцией. Расчёт проводился в универсальной программе для работы с электронными таблицами и формулами Microsoft Office Excel.

**Ключевые слова:** метано-водородная фракция, топливная смесь, удельная теплота сгорания, расход топлива, природный газ.

В нынешнее время для улучшения экологических характеристик энергетических машин создаются масштабные программы по реконструированию энергетических машин на сжатый природный газ. Однако газовый двигатель, несмотря на очень небольшой уровень токсичности отработавших газов, раскрывает резервы для последующего уменьшения токсичности [1, 2].

Одним из наиболее перспективных путей снижения токсичности выхлопов ГТУ является использование смесового топлива, представляющего собой смесь смеси паро-газа и водорода в разных пропорциях [3].

Количество углерода в топливе является физико-химической характеристикой, которая принадлежит каждому определенному виду топлива и не зависит от процесса или условий сжигания топлива [4, 5].

Расчет выбросов CO<sub>2</sub> при сжигании топлива разбивается на следующие шаги:

1) фактически потребленное количество каждого вида топлива по каждой установке в натуральных единицах (т, м<sup>3</sup>) для соответствующего вида продукции умножается на коэффициент его теплосодержания ТНЗ (ТДж/т, м<sup>3</sup>);

2) полученное произведение (расход топлива в энергетических единицах – ТДж) умножается на коэффициент выбросы углерода (т С/ТДж);

3) полученное произведение корректируется на неполное сгорание топлива – умножается на коэффициент окисления углерода (отношение CO<sub>2</sub>:CO);

4) пересчет выбросов углерода в выбросы CO<sub>2</sub> – путем умножения откорректированного углерода на 44/12 [6, 7].

Предполагается сжигание смеси природного газа и МВФ с тепловой долей топливного газа до 12 %. Для сравнения будут рассчитываться МВФ, природный газ, и смесь этих газов с тепловой долей МВФ 12 и 25 %. В развернутом виде приводится расчёт смеси с тепловой долей МВФ в 12 % [8].

Материальный баланс процесса горения на 100 м<sup>3</sup> газообразного топлива

Приход			Расход		
Топливо	Кг	Воздух	Кг	Прод.сгор	Кг
H <sub>2</sub>	0,530002	H <sub>2</sub> O	11,7967	CO <sub>2</sub>	189,8227
CH <sub>4</sub>	64,33672	N <sub>2</sub>	905,5690	H <sub>2</sub> O	168,4510
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0,008917	O <sub>2</sub>	275,1921	N <sub>2</sub>	906,3313
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2,512914			O <sub>2</sub>	0
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0,002230			SO <sub>2</sub>	0,000921
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,687367				
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,367396				
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,030091				
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,429714				
N <sub>2</sub>	0,762300				
CO	0,008910				
CO <sub>2</sub>	0,540195				
H <sub>2</sub> S	0,000485				
H <sub>2</sub> O	0,826924				
Итого:			1 263,602	Итого:	1 264,605
Невязка баланса, кг			1 264,605 – 1 263,602 = –1,003		
Невязка баланса, %			100 · 1,003 / 1 263,602 = 0,0794		

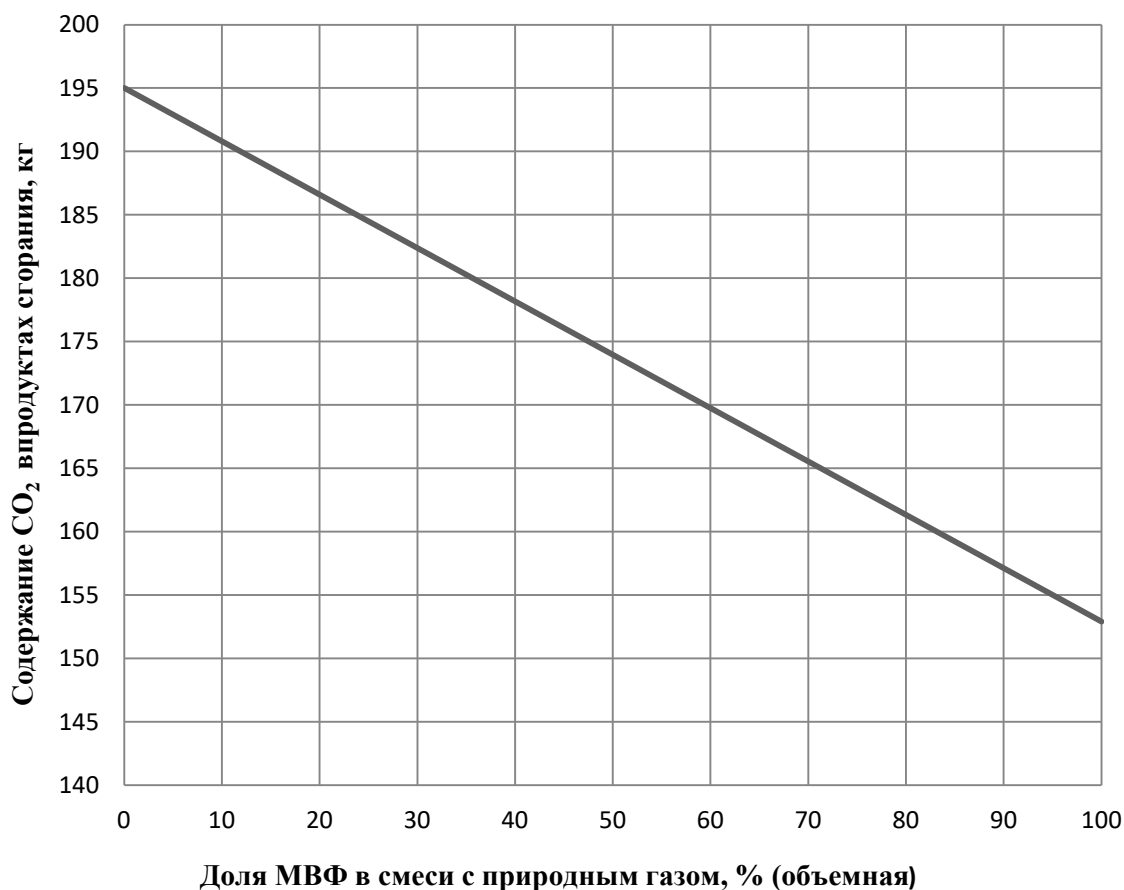


Диаграмма зависимости содержания CO<sub>2</sub> (кг) в продуктах сгорания (на 100 м газообразного топлива) от содержания в топливе МВФ (%)

В ходе работы был произведён расчёт концентрационных пределов воспламенения и скорости горения для разных составов топлив при нормальных атмосферных условиях. Так как нормальная скорость горения водорода превышает скорость горения метана почти в шесть раз) то и при добавлении МВФ к природному газу скорость горения смеси будет повышаться (от 28 см/с для природного газа, до 94 см/с для МВФ). Понизится содержание диоксида углерода в составе продуктов сгорания, но незначительно повысится содержание диоксида серы (из-за содержания в МВФ сероводорода).

### Источники

1. Вахлаев А.А., Сандалова Л.А. Повышение эффективности газотурбинных установок путем сжигания метано-водородного топлива // Электроэнергетика глазами молодежи – 2015: тр. VI Междунар. науч.-техн. конф. Иваново, 2015. Т. 2. С. 305–306.

2.Абрамчук Ф.И., Кабанов А.Н., Майстренко Г.В. Влияние добавки водорода к природному газу на свойства смесового топлива // Автомобильный транспорт. 2009. № 24. С. 45–49.

3. Канило П.М., Костенко К.В. Перспективы становления водородной энергетики и транспорта. // Автомобильный транспорт. 2008. № 23. С. 107– 113.

4. 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. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934021 // Proc. of the International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies. Vladivostok, 2019.

5. Водородная энергетика и экология, получение водорода, стоимость водородного топлива / И.А. Бабкин [и др.] // Экологические проблемы промышленных городов: сб. науч. тр. 3-й Всесоюз. науч.-практ. конф. Саратов, 2007. С. 18–22.

6. Брызгалов А.А., Шайкин А.П. Добавка водорода в метановоздушную смесь газового двигателя // Автотракторостроение – 2009: матер. Междунар. науч. симпозиум. Москва, 2009. Кн. 2. С. 25–33.

7. Козляков В.В. Водород – топливо свободы // Основные процессы и техника промышленных технологий: сб. науч. тр. каф. ПАХТ и БЖД. М., 2014. С. 28–42.

8. Осипов Б.М., Титов А.В. Автоматизированная система газодинамических расчетов энергетических турбомашин: учеб. пособие. Казань: Казан, гос. энерг. Ун-т, 2012. 277 с.

УДК 621.311.22

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА

А.В. Ишалин<sup>1</sup>, Г.И. Файзуллина<sup>2</sup>, Г.Е. Марьин<sup>3</sup>

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

<sup>3</sup>АО «Татэнерго», г. Казань,

Aiv1999@yandex.ru,

Науч. рук. А.В. Титов

Использование водорода в качестве основного топлива или добавки к топливному газу, на данный момент рассматривается, как основной инструмент снижения углеродного следа. В данной работе рассматриваются способы производства водорода. Показано, что наиболее экологичным является производство водорода электролизом.

**Ключевые слова:** водород, природный газ, альтернативное топливо, повышение эффективности.

В настоящее время Европейский союз старается минимизировать углеродный след в энергетике. 8 июля 2020 г. в ЕС была подписана водородная стратегия, включающая в себя переход от использования природного газа к водороду [1]. Использование водорода перспективное направление, он может быть применен как основной и резервный вид топлива для энергетических котлов газовых и парогазовых установок на данный момент. Имеется большой потенциал для перехода от газового топлива к водородному. Это обуславливается высокими энергетическими показателями водорода [2, 3].

### Сравнение параметров метана и водорода

Параметр	Водород	Метан
Удельная теплота сгорания, МДж/кг	140...120	50
Температура кипения, К	20,28	111,42
Плотность при нормальных условиях, кг/м <sup>3</sup>	0,08987	0,6682

На сегодняшний день большинство промышленных компаний нацелены на повышение энергоэффективности и декарбонизацию своего производства. Энергоэффективность можно достичь, применяя новые технологии и производя замену энергетического оборудования. Для минимизации вредных выбросов энергетического производства необходимы:

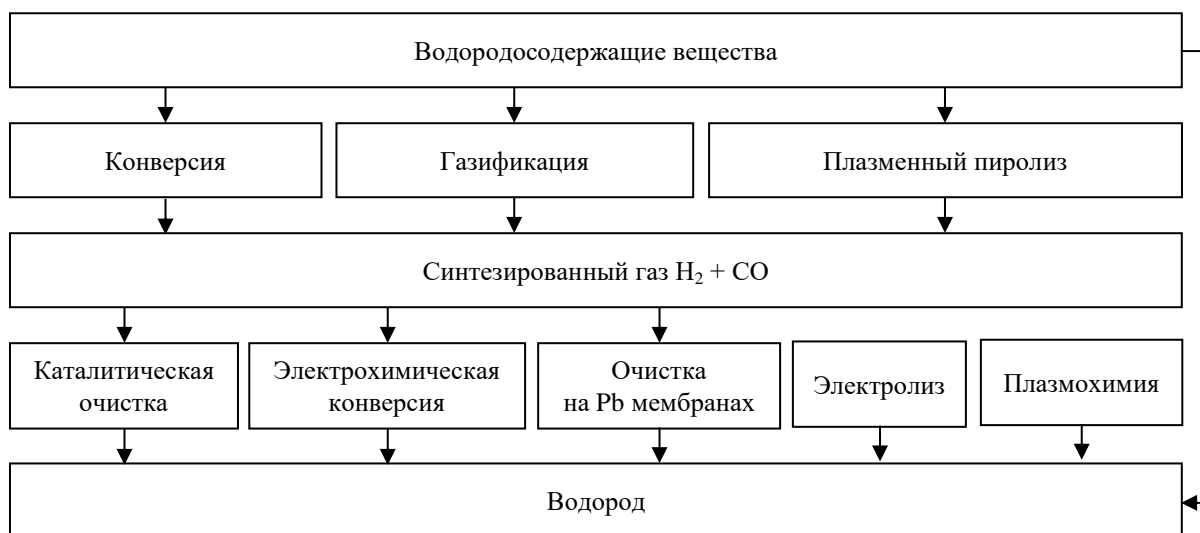
- уменьшать количество углерода в отработавших газах ГТУ и энергетических котлов;
- вести контроль по образовавшемуся углероду после сжигания органического топлива;
- производить улавливание углерода и использовать в производстве полезной продукции;
- использовать водород и CO<sub>2</sub>, CO для создания синтез газов.

Альтернативой углеводородному топливу (природный газ, керосин) может быть водород. В настоящее время различают несколько способов производства водорода. Наиболее перспективными способами являются газификация угля, электролиз воды, паровая конверсия природного газа. Выше перечисленные способы различаются по экологичности производства и по себестоимости получаемого газа.

По способу производства водород делят на голубой (синий), зеленый и серый.

На рисунке представлена блок-схема производства водорода при конверсии, газификации и плазменном пиролизе.





Блок-схема производства водорода при конверсии, газификации и плазменном пиролизе

«Серым» называют водород, произведенный из ископаемых углеводородов, например нефть, природный газ и уголь. При его добыче он не очищается от примесей, поэтому энергетические характеристики ниже, чем у природного газа. При производстве такого водорода затрачивается очень много топлива, поэтому он менее экологичный так как при его производстве выделяется много дополнительных выбросов CO, CO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub>. И их количество варьируется в зависимости от исходного топлива. Однако стоит отметить, что этот вид водорода самый дешевый в производстве.

«Голубой» водород мало чем отличается от «серого». Он так же добывается из природный ископаемых. Единственным и важным отличием, является наличие дополнительной установки, позволяющей, улавливать углекислый газ из отработавших газов. Это система имеет название “CCS” и расшифровывается как “carbon capture storage” [4]. Стоит отметить, что наличие “CCS” значительно очищает конечный продукт, однако делает его производство дороже. Следует обратить внимание, что ни «голубой», ни тем более «серый» водород не являются бескомпромиссно чистыми видами топлива. Так как даже у «голубого» водорода, в процессе производства, присутствует CO, CO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub>.

«Зеленый» водород является самым чистым, по способу производства. На данный момент существует два основных направления производства «зеленого» водорода: из биомассы и с помощью электролиза воды.

Самым экологичным способом получением водорода, на сегодняшний день, является электролиз воды. Этот способ не выделяет CO, CO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub>, однако является самым дорогим способом производства водорода. Так, согласно данным ПАО «Газпром» для получения 1 куб. м водорода методом пиролиза метана требуется всего 0,7...3,3 кВт/ч, а путем электролиза – 2,5...8 кВт/ч, то есть почти втрое больше.

### Источники

1. Белов В.Б. Новые водородные стратегии ФРГ и ЕС: Перспективы кооперации с Россией // Современная Европа. 2020. № 5 (98). С. 65–76.
2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М. Критерии выбора составов топлив при их сжигании в газотурбинных установках с незначительными переделками топливной системы // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24, № 2 (151). С. 356–365.
3. 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.
4. Бликли Д. Технология CCS – решение парниковой проблемы? // Экология и жизнь. 2012. № 3. С. 51–53.

УДК 621.311

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ МОЩНОСТИ ГАЗОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ И ПАРОВАЗОЙ УСТАНОВКИ

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.com

Науч. рук. И.Н. Маслов

Повышение мощности газотурбинных и паровых установок является актуальным вопросом для теплоэнергетики. Повышение мощности ГТУ и ПГУ позволит вырабатывать больше тепла и электроэнергии на тепловых электростанциях и уменьшить количество экономических издержек.

**Ключевые слова:** газовая турбина, паровая турбина, повышение мощности, повышение КПД.

Вопрос о повышении мощности газотурбинной установки (ГТУ) и парогазовой установки (ПГУ) является на данный момент важным, так как увеличение коэффициента полезного действия (КПД) установок на 1-2 % существенно увеличит выработку тепла и электроэнергии на ТЭС [1, 4, 5], тем более когда постоянно изменяется нагрузка сети [2, 3].

Эффективность ГТУ во многом зависит от температуры подаваемого на турбину пара. При повышении температуры с 1 000 до 1 400 °С без изменений в расходе воздуха мощность увеличивается в два раза. На данный момент компания Mitsubishi освоила начальную температуру в 1 500 °С, которая достигается благодаря паровому охлаждению стартера турбины, и теперь разрабатывает ГТУ с температурой подаваемого на турбину газа в 1 700 °С [4, 5].

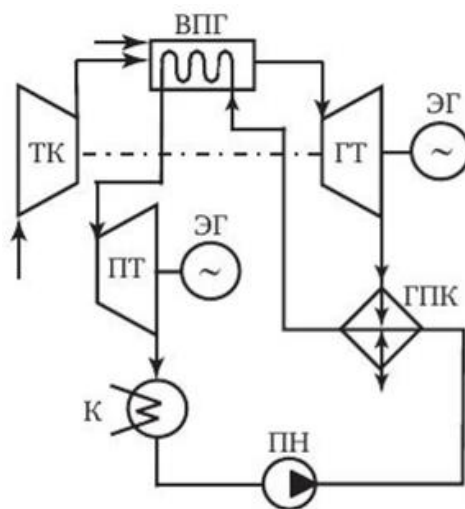
Такие температуры газа были достигнуты за счет конструкционных решений, применений термостойких сплавов и сталей, термозащитных покрытий на лопатках и эффективной системы их охлаждения.

Однако у ГТУ есть значительный недостаток – потери тепла с уходящими газами. Такие потери могут достигать 70 % от подводимой с топливом энергией. Тем не менее утилизация тепла внутри цикла помогает значительно повысить КПД. Примером может послужить установка газовоздушных теплообменников – регенераторов («атмосферной регенерации»), использование которой для подогрева сжатого в компрессоре воздуха позволит уменьшить расход топлива и повысить КПД на 5-6 %.

Так же одним из способов повышения мощности ГТУ является введение ступенчатого сжатия в компрессорах высокого и низкого давлений и ступенчатого расширения в турбинах высокого и низкого давлений с промежуточным подводом теплоты, что позволяет приблизить процессы сжатия и расширения к изотермическим. Это значительно усложняет конструкцию установки, поэтому применяют обычно не более одного промежуточного подогревателя и охладителя.

Совмещая газотурбинные и паротурбинные установки, охват температур увеличивается, что обуславливает повышение КПД комбинированных установок, называемых ПГУ (парогазовыми установками), которые принято разделять на бинарные (в схеме совместно находятся газовые и паровые турбины, тепло отводимое от цикла Брайтона подводится циклу Ренкина) и газопаровые или ПГУ со смешением парового и газового потоков (вода или пар, образовавшийся за счет уходящих с газовой турбины газов, впрыскивается в газовый поток).

Так же бинарные ПГУ в свою очередь можно подразделить на ПГУ с высоконапорным парогенератором (ВПГ) (см. рисунок), ПГУ с низконапорным парогенератором (НПГ) и ПГУ с котлом-утилизатором (КУ).



ПГУ с высоконапорным парогенератором

Мощность ПГУ с ВПГ обуславливается необходимым для сжигания топлива в ВПГ расходом воздуха, который зависит от мощности паровой турбины. Как правило, в схемах с ВПГ мощность ГТУ составляет 20–30 %. Из недостатков у ПГУ с ВПГ невозможность отдельной работы паровой и газовой турбин и потребность в сжигании в ВПГ только газообразного или высококачественного жидкого топлива, что связано с применением продуктов сгорания в качестве рабочего тела газовой турбины. Так же к минусам схем с ВПГ можно отнести и изнашивание проточной части газовой турбины продуктами коррозии внутренней части высоконапорного парогенератора.

Использование ПГУ с НПГ становится возможным в следствие высокой температуры выхлопных газов ГТУ и большим объемным содержанием кислорода в них. Это позволяет использовать их как окислитель при сжигании топлива в котле, одновременно с этим передавая часть теплоты рабочему телу ПТУ. При равных параметрах рабочих тел данная установка имеет КПД на 1-2 % меньше, чем ПГУ с ВПГ, главной причиной тому является меньший расход продуктов сгорания через ГТУ. Недостатками ПГУ с НПГ являются сложность обеспечения ее автономной работы ПТУ при поломке ГТУ (из-за отсутствия в котле воздухоподогревателя требуется установка специальных калориферов, нагревающих воздух перед подачей его в топку котла).

В схемах ПГУ с КУ отработавший в ГТУ газ отправляется в котел-утилизатор, где создается пар, идущий в ПГУ. Данные ПГУ подобны регенеративным ГТУ, где регенератор замещен котлом-утилизатором, что позволяет повысить мощность на 40–50 %, а КПД на 20–25 %, в отличие от регенеративных ГТУ.

## Источники

1. Марьин Г.Е., Менделеев Д.И., Гайнутдинов Р.Р. Анализ влияния основных параметров паротурбинного цикла на эффективность работы бинарных ПГУ // Электроэнергетика глазами молодежи – 2019: матер. юбил. X Междунар. науч.-техн. конф. Иркутск, 2019. Т. 1. С. 276–279.
2. Актуализация расчетных электрических нагрузок с последующим практическим применением на примере Республики Татарстан / Ю.И. Солуянов [и др.] // Промышленная энергетика. 2021. № 2. С. 32–40.
3. Энергосберегающие решения в распределительных электрических сетях на основе анализа их фактических нагрузок / Ю.И. Солуянов [и др.] // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № 5 (62). С. 68–73.
4. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е. Исследование влияния состояния оборудования блоков ПГУ и режимов их работы на выполнение заданного графика выработки электроэнергии // Энергия – 2018: матер. 13-й Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Иваново, 2018. Т. 1. 7 с.
5. Марьин Г.Е., Осипов Б.М. Критерии выбора составов топлив при их сжигании в газотурбинных установках с незначительными переделками топливной системы // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24, № 2 (151). С. 356–365.

УДК 621.438, 662.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СТАЦИОНАРНОЙ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ

Д.Ф. Сагдуллин<sup>1</sup>, М.В. Савина<sup>2</sup>, С.С. Тимофеева<sup>3</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>danis.sagdullin@gmail.com, <sup>2</sup>pmv\_83@mail.ru, <sup>3</sup>zvezdochka198512@mail.ru

Предложена технология предварительной подготовки торфа для сжигания в ГТУ на ТЭС. Показаны результаты расчета состава генераторного газа, как непроектного топлива, и условия его применения в газотурбинной установке.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка тепловой электростанции, состав топлива, коэффициент полезного действия, торф, непроектное топливо, газификация, парокислородное дутье.

На эксплуатационные характеристики газовой турбины существенное влияние оказывает состав подаваемого газа. Это может быть как природный газ, так и газ, полученный другими промышленными способами:

- газификация твердых топлив (угля, торфа);
- попутный газ нефтяных месторождений и т. п.

Данные по составу природного газа даже в пределах одной республики Татарстан сильно разнятся и, как следствие, влияют на производительность ПГУ в целом.

В работе [1] приведено исследование возможности сжигания в стационарной энергетической газотурбинной установке General Electric PG111 6FA природного газа разных месторождений. Как показывают данные, любое отклонение индекса Воббе требует изменение настройки топливной системы. Также авторами отмечено, что применение синтез-газа недопустимо из-за значительного отклонения индекса Воббе. Как вариант, диапазон видов топлива может быть расширен за счет изменения конструкции горелок турбины [2], либо предварительной сушки влажного твердого топлива с последующей газификацией [3].

Торфяные месторождения широко распространены практически по всей территории Российской Федерации, его запасы уступают только запасам угля. Однако для его использования в ПГУ необходимо повысить «энергетическую привлекательность» торфа путем применения технологий, позволяющих улучшить теплотехнические и механические свойства исходного сырья. Одним из технологических решений использования торфяных ресурсов может быть переработка брикетов из смеси торфа и древесной массы в аппаратах термохимической переработки с получением генераторного газа, который в дальнейшем сжигается в ГТУ [4].

В настоящей работе рассмотрена возможность использования торфа для сжигания в ГТУ. Технологическая схема состоит из следующих основных блоков: подготовки топлива, блока получения и очистки генераторного газа, а также блока производства тепловой и электрической энергии (см. рисунок).

Измельчение и сушку торфа осуществляют в сушильно-мельничной установке. Подбор окислителя осуществляется в зависимости от свойств исходного топлива и требуемого состава генераторного газа. В случае применения окислителя с паром, в смесителях происходит смешивание кислорода (воздуха) с паром, который отбирается из общего количества,

выработанного в блоке производства энергии. Газификация топлива осуществляется в поточном газогенераторе. Подогретый окислитель 5 и подготовленное топливо 4 подаются на горелочные устройства газогенератора, в котором происходит непосредственно процесс газификации при высокой температуре порядка 1 200–1 500 °С. Загрязненный генераторный газ охлаждается в газоохладителях, очищается в системе пыле- и газоочистки в циклонах и фильтрах от вредных примесей. Очищенный газ 6 направляется на сжигание в камеру сгорания ГТУ с получением электрической энергии. Для дутья используется пар, полученный в котле-утилизаторе, в котором утилизируются уходящие дымовые газы ГТУ. Термодинамический КПД для таких схем составляет около 30–34 % [5].

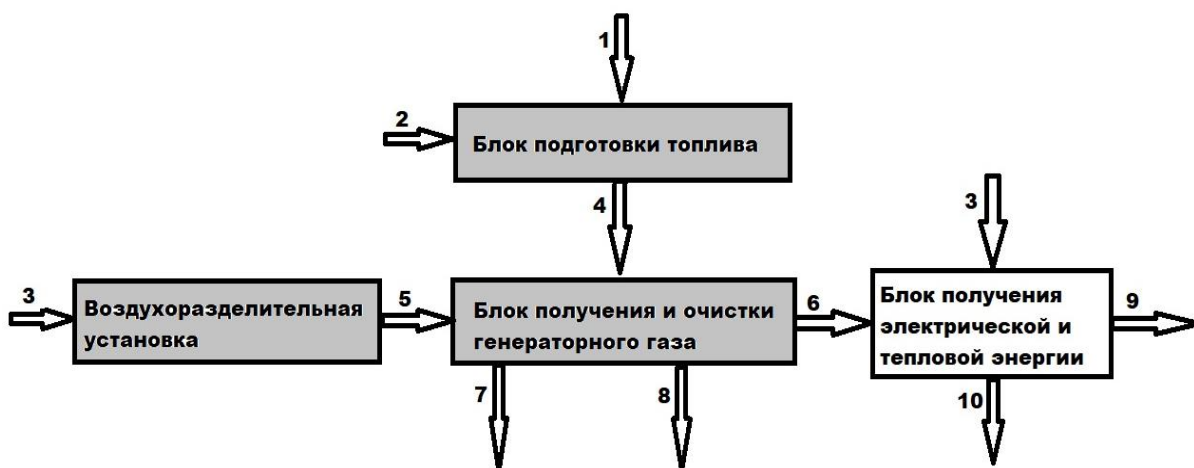


Схема производства энергии с газификацией торфа: 1 – сырое топливо; 2 – сушильный агент; 3 – воздух; 4 – подготовленное топливо; 5 – кислород; 6 – генераторный газ; 7 – шлак; 8 – комковатая сера; 9 – тепловая и электрическая энергия; 10 – уходящие газы

В таблице приведены показатели газов, полученных в результате газификации торфа, с различными видами окислителя [6].

#### Состав генераторного газа из торфа

Дутье	Влажность исходного сырья, %	Состав генераторного газа, % по массе					Теплота сгорания, МДж/нм <sup>3</sup>
		CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	
Паровоздушное	12,5	11,9	17,3	14,9	2,29	53,7	3,9
	24,5	18	15,5	8,1	1,8	56,6	3,8
Парокислородное	12,5	23,3	4,9	69,8	1,8	0,13	11,1

Как видно из таблицы, более низкие значения теплоты сгорания генераторного газа характерны для паровоздушного дутья, что связано с низким значением горючих компонентов и повышенным содержанием балластных газов. Следовательно, при переводе ГТУ на искусственный газ, полученный парокислородным дутьем со средней теплотой сгорания от 8 до 20 МДж/м<sup>3</sup> необходима незначительная модернизация топливной системы и камеры сгорания. При этом конструкция газовой турбины остается неизменной [7].

Таким образом, при грамотном подборе соотношения состава генераторного газа с более высокой теплотой сгорания, полученного газификацией торфа, можно увеличить производительность турбины и снизить выбросы оксидов углерода и азота.

### Источники

1. Влияние состава топлива на энергетические параметры газотурбинной установки / Г.Е. Марьин [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22, № 5. С. 41–51.

2. Extended Range of Fuel Capability for GT13E2 AEV Burner With Liquid and Gaseous Fuels / M. Zajadatz [et al.]. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4041144> // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. 2019. Vol. 141, Is. 5.

3. Markku O. Raiko, Risto A. Raiko. The Role of Fuel Moisture in Gas Turbine Processes. DOI: <https://doi.org/10.1115/99-GT-397> // Proc. of the ASME 1999 International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exhibition. Indianapolis, 1999. Vol. 2. Coal, Biomass and Alternative Fuels; Combustion and Fuels; Oil and Gas Applications; Cycle Innovations.

4. Тимофеева С.С., Исламова С.И., Ермолаев Д.В. Композиционное топливо на основе торфа и древесных отходов // Труды Академэнерго. 2019. № 4 (57). С. 122–132.

5. Тимофеева С.С., Мингалеева Г.Р. Термозкономическая эффективность технологической схемы с газификацией твердого топлива под давлением // Энергетик. 2011. № 4. С. 31–34.

6. Тимофеева С.С., Мингалеева Г.Р. Перспективы использования торфа в региональной энергетике // Известия Томского политехнического университета. 2014. Т. 325, № 4. С. 46–55.

7. Рыжков А.Ф., Филиппов П.С., Т.Ф. Богатова Анализ работы парогазовых установок с внутрицикловой газификацией угля: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. 168 с.



## РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЗОВЫХ МИКРОТУРБИН

К.О. Салимов, П.В. Дунаев, В.И. Яшанин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>Kamil.salimov2019@gmail.com, <sup>2</sup>dpv89@mail.ru, <sup>3</sup>vlad1997306@gmail.com

Науч. рук. Г.Р. Мингалеева

Большая часть России не охвачена централизованными системами генерации электрической и тепловой энергии. Одно из решений задачи – разработка и создание газотурбинных мультитопливных энергетических установок малой мощности. Такие установки распределенной когенерации мощностью от 50 кВт до 25 МВт, объединенные в кластеры, позволят решить задачу снабжения теплом и электроэнергией небольших поселков, особенно в Сибири и на Дальнем Востоке [1, 2].

**Ключевые слова:** малая энергетика, малая распределенная генерация, газовые микротурбины.

Хотя нет четкого определения размера микротурбин, газовые микротурбины можно определить, как небольшие высокоскоростные турбогенераторы мощностью до 200 кВт, работающие по циклу Брайтона, которые состоят из центробежного компрессора, радиальной турбины и ротор-генератора с постоянными магнитами. Их главная особенность заключается в том, что высокоскоростной генератор напрямую соединен с ротором турбины и что они используют силовую электронику вместо редуктора и обычного генератора для адаптации производимой мощности к качеству электроэнергии в сети [3, 4].

В типичной регенеративной системе газовой микротурбины (рис. 1) поступающий атмосферный воздух сжимается и затем проходит через регенератор, где он предварительно нагревается горячими газами, выходящими из турбины, прежде чем попадает в камеру сгорания. Это снижает количество топлива, используемого для достижения рабочей температуры. В камере сгорания топливо сжигается с избытком сжатого воздуха для получения горячего газа с высокой температурой и давлением. Затем газ проходит через турбину, которая извлекает энергию и использует ее для привода компрессора и генератора переменного тока. Выхлопные газы турбины проходят через рекуператор и, наконец, через бойлер, абсорбционный охладитель с прямым приводом.

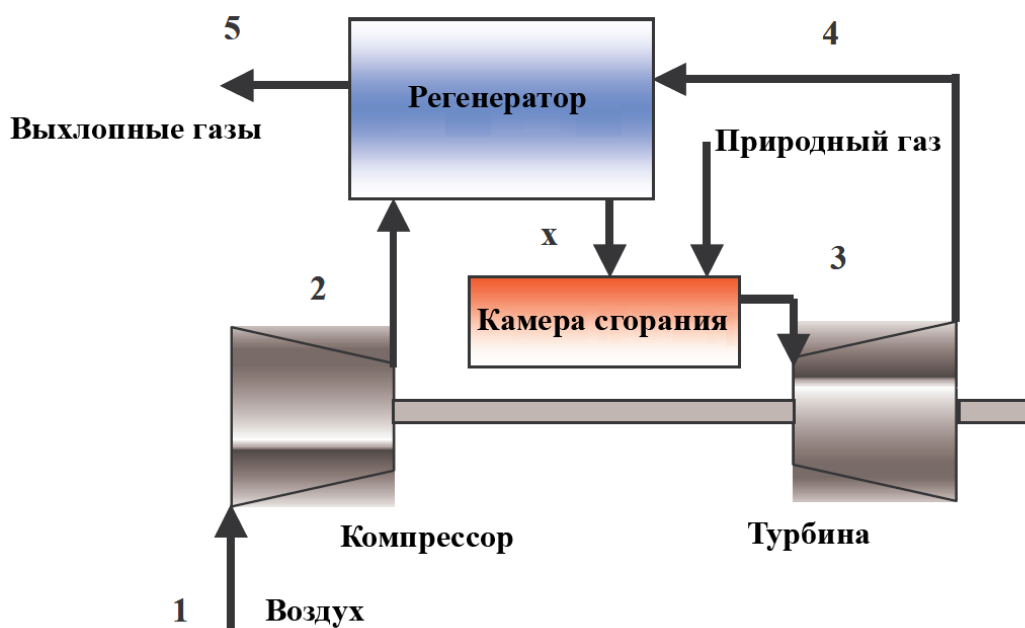


Рис. 1. Схема регенеративной газовой микротурбины

Обычно используются одновалевые микротурбины, так как эта конфигурация имеет более низкую стоимость производства, чем конфигурация с двумя валами и генератор также может быть установлен напротив точки выхода газа, так что выхлопные газы покидают турбину с более низкой потерей давления. Это увеличивает полезную мощность и снижает расход топлива. В некоторых микротурбинах регенератор можно полностью или частично убрать, если необходимо. Конфигурация простого цикла, то есть безрегенеративного цикла, является допустимым вариантом, когда основной целью установки является выработка тепла при очень высокой температуре для достижения большей общей эффективности, а не большей электрической эффективности.

Основой микротурбинных турбомашин в настоящее время являются одноступенчатые радиальные компрессоры и турбины. Турбомашин с радиальным потоком справляются с небольшими объемами потоков с достаточно высокой эффективностью. Экономическая стоимость также ниже, чем у осевых компонентов. Главный недостаток радиальных компрессоров и турбин в том, что они менее эффективны.

Все вышеперечисленные особенности означают, что микротурбины имеют некоторые преимущества перед другими конкурирующими технологиями, такими как поршневые двигатели на природном газе. Вот эти преимущества:

- это легкие и очень компактные системы;
- производят низкий уровень шума и не подвержены вибрации;

- выбросы выхлопных газов ниже, чем у конкурирующих технологий, за исключением топливных элементов [5];
- система рекуперации тепла имеет менее сложную конструкцию, чем у двигателей;
- требуют меньше обслуживания, особенно безмасляные микротурбины, в которых вместо масляной смазки используются аэродинамические подшипники, вся электроника микротурбины также имеет воздушное охлаждение.

Готовая микротурбинная система состоит из различных элементов, связанных, как показано на рис. 2.

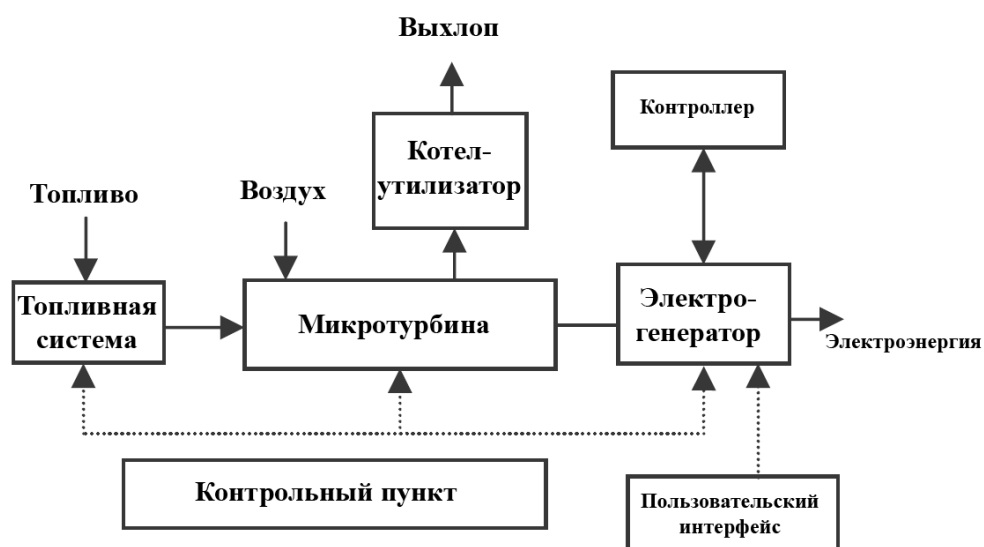


Рис. 2. Блочная диаграмма микротурбинной системы

Микротурбины также могут работать:

- как автономные системы; как системы, подключенные к сети;
- как системы Dual Mode с автоматическим переключением между автономным и сетевым режимами работы;
- как системы Multipac, состоящей из параллельного соединения множества микротурбин для получения более высокой электрической мощности и совместной работы как единой системы.

Электрический КПД современных микротурбин, которые также характеризуются низким коэффициентом давления и умеренными температурами на входе в турбину, составляет 25–30 %, в зависимости от мощности. Одним из важнейших компонентов микротурбин с низкой степенью сжатия является рекуператор. Большинство современных компактных рекуператоров производится из нержавеющей стали серии 300, которая используется при температурах выхлопных газов менее  $\approx 650$  °С.

В основном существует два основных типа компоновочных решений для рекуператора в микротурбине. Первый представляет собой рекуператор кольцевой формы, охватывающий микротурбину. Его главное преимущество заключается в том, что стабильный аэродинамический поток газа обеспечивает низкие потери давления, нет необходимости во внешних каналах, а также снижается уровень шума. Другой вариант – традиционный рекуператор кубической формы. Основным преимуществом в этом случае является возможность частично пропускать горячий выхлопной газ для получения более высокой температуры для установок с рекуперацией тепла.

Микротурбины открывают новые возможности для работы электросетей и используют преимущества газовых турбин при небольших мощностях, близких к номинальным. В результате повышается эффективность производства энергии и значительно снижаются выбросы парниковых газов и загрязняющих веществ.

### **Источники**

1. Пожидаев В.М. Микрогазотурбинные электроагрегаты – новое направление в малой энергетике // Академия энергетики. 2005. № 4. С. 26–33.
2. Грицына В.П. Развитие малой энергетике – естественный путь выхода из наступившего кризиса энергетике // Промышленная энергетика. 2001. № 8. С. 13–15.
3. Pilavachi P.A. Mini- and Micro-gas Turbines for Combined Heat and Power // Applied Thermal Engineering. 2002. Vol. 22. Pp. 2003–2014.
4. Bruno J.C., Massagues Ll., Coronas A. Stand-Alone and Grid-Connected Performance Analysis of a Regenerative Micro Gas Turbine Cogeneration Plant. DOI: <https://doi.org/10.1243/095765004322847053> // Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy. 2004. Vol. 218, Is. 1. Pp. 15–22.
5. Bruno J.C., Massagues Ll., Coronas A. Power Quality and Air Emission Tests in a Micro Gas Turbine Cogeneration Plant. DOI: <http://dx.doi.org/10.24084/repqj01.408> // Proc. of the International Conference on Renewable Energy and Power Quality. Vigo (Spain), 2003.

## МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ЛЕТНИМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ МОЩНОСТИ ГАЗОВЫХ ТУРБИН

Г.И. Файзуллина<sup>1</sup>, А.В. Ишалин<sup>2</sup>, Г.Е. Марьин<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>3</sup>АО «Татэнерго», г. Казань,

gfaizyllina@yandex.ru,

Науч. рук. А.В. Титов

Рассматриваются несколько видов систем охлаждения воздуха газовых турбин. Влияние работы абсорбционно бромистолитиевых холодильных машин на режим работы газовой турбины.

**Ключевые слова:** газотурбинные установки, тепловая энергия, системы охлаждения, абсорбционные холодильные машины.

Систему охлаждения воздуха применяют с целью наращивания объема электрической мощности и снижения объема потребления газа при увеличении температуры воздуха на входе в ГТУ. Также данную систему применяют для увеличения мощности энергоблоков и коэффициента полезного действия. На эксплуатацию газотурбинных установок в южной части накладывается больше ограничений в летнее время года. Преимущества таких систем позволяют повысить мощность энергоблоков до 25 %, за исключением собственных затрат мощностей [1].

Рассмотрим несколько видов систем охлаждения:

- абсорбционно бромистолитиевые холодильные машины (АБХМ);
- испарительные установки охлаждения воздуха для ГТУ.

АБХМ вырабатывают охлаждение за счет тепловой энергии, при этом не потребляют энергию. В виде источников энергии используют горячую воду, пар, природные и выхлопные газы и другие виды топлива.

Холодильная машина работает на свойствах абсорбента и хлад-агента. Данные свойства создают отвод тепла, поддержание и охлаждение требуемого температурного режима. Теплообменник устанавливают для понижения электрической мощности ГТУ при высоких температурах наружного воздуха. Через теплообменник проходит охлажденная вода из холодильной машины с температурой от 5 до 10 °С. Вырабатываемый холод машиной служит для охлаждения воздуха на входе в турбину до 20 °С.

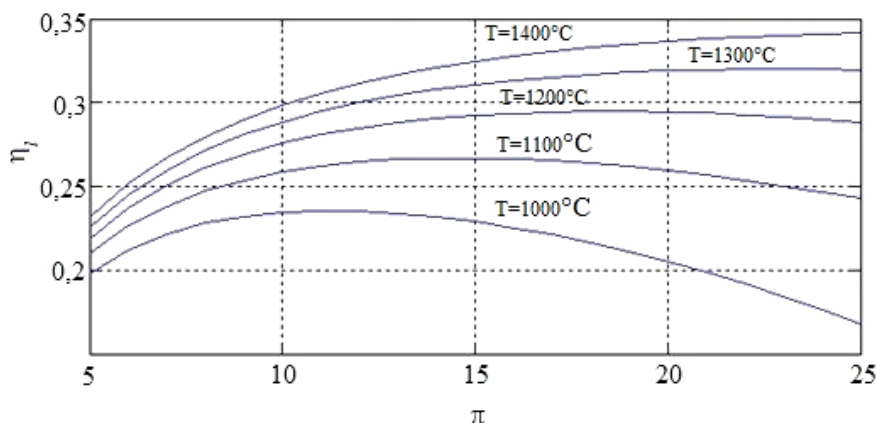
При подаче воздуха на входе в турбину с высокой температурой происходит падение температуры с 40 до 15 °С, вследствие чего происходит предотвращение снижений мощности ГТУ на 30 % [2].

Существует несколько типов АБХМ.

Паровые АБХМ, источник энергии – водяной пар. Он работает в условиях вакуума, при низких температурах вода кипит и отводит теплоту от охлаждаемой воды. Основные качества такой машины, это высокая энергоэффективность (давление пара 0,1–0,8 МПа, холодопроизводительность 300–20 000 кВт и температура охлаждения воды не ниже +5 °С) и минимальная удельная стоимость.

АБХМ с прямым сжиганием топлива, в виде источника энергии использует энергию сжигания топлива (природный газ, дизельное топливо, биогаз и др.). Энергоэффективность данной машины состоит из теплопроизводительности, она составляет 240–16 000 кВт, и единичной холодопроизводительностью 300–20 000 кВт. Основным преимуществом является возможность получать не только холод в летнее время года, но и тепло в зимнее время года, а также работает одновременно на холод и тепло.

Испарительная установка осуществляет процесс охлаждения воздуха при помощи испарения воды. В ее основе используют большую удельную теплоту воды. В этом процессе используется меньше энергии, когда температура сухого воздуха понижается с помощью фазового перехода воды в пар. Половина мощности от всей ГТУ использует сжатие воздуха в компрессоре, из-за чего работа компрессора действует на КПД всей установки. Степень повышения давления в компрессоре показывает, что КПД установки существенно растет при его повышении (см. рисунок) [3].



Зависимость КПД от степени повышения давления

Для испарения жидкости из среды берется определенное количество теплоты. За счет испарения, сухой термометр сравнивают с влажным, после чего потенциал охлаждения сопоставляют с полученными значениями. Большая разница температур зависит от большего эффекта охлаждения. Охлаждающий эффект не происходит, когда температура испарения воды одинаковая.

Преимуществами охладительных испарителей относится то, что вода имеет наибольшую энтальпию преобразования. Открытый цикл используют для понижения температуры воздуха благодаря удельной теплоте испарения. В этом процессе энергия воздуха не изменяется и для испарения воды используется теплота внешнего воздуха.

Закрытый цикл схож с открытым циклом, но он использует влажный, охлажденный воздух, который не соприкасается с кондиционируемой средой.

К преимуществам данной установки относят низкую стоимость установки и источником охлаждения является вода. Недостатком является то, что при условии высокой влажности снижается охлаждаемая способность (не работает как осушитель).

### **Источники**

1. Наши Шахин, Хусан Акул. Системы охлаждения воздуха на входе в газотурбинные установки // Турбины и дизели. 2011. № 2. С. 8–13.

2. Исследование влияния условий эксплуатации на эффективность использования абсорбционно-холодильной машины в цикле газотурбинных и парогазовых установок / Д.И. Менделеев [и др.] // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24, № 4 (153). С. 821–831.

3. Доброгорский В. Е., Пономарев Н. С. Особенности модернизации ГТУ для снижения ограничений располагаемой мощности в условиях высокой температуры наружного воздуха с помощью установки испарительного охладителя в проточной части КВОУ // Актуальные исследования. 2020. № 2 (5). С. 17–22.

УДК 621.311

## **МОНИТОРИНГ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

А.М. Халиева, А.А. Баранов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
adeliy2000@gmail.com  
Науч. рук. И.Н. Маслов

Общая цель мониторинга потребления энергетических ресурсов состоит в установлении общего количества таких ресурсов, которое будет находиться в использовании, а также взимания платы за их пользование в зависимости

от показателей производительной деятельности организаций и предприятий, в зависимости от различных факторов, таких как внешние экономические факторы. Мониторинг потребления тепловой и электрической энергии в энергетике позволит сократить финансовые потери за счет их оптимизации. Одним из способов сокращения затрат применение технологии управление спросом. Еще одним важным результатом мониторинга потребления тепловой и электрической энергии в энергетике является повышение надежности.

**Ключевые слова:** мониторинг потребления энергоресурсов, производство электроэнергии, оптимизация производства, управление спросом.

Мониторинг необходим для того, чтобы с точностью выработать управленческие решения по эффективному применению и использованию энергетических ресурсов и минимизации затрат на них. Но при этом так же важно устанавливать показатели энергопотребления, которые в свою очередь будут характеризовать экономическую и техническую эффективность применения и использования ресурсов.

При этом важную роль играет установление и периодическое отслеживание показателей энергопотребления, характеризующих эффективность применения и использования энергетических ресурсов с экономической и технической точек зрения [1, 2].

Необходима выработка показателей, которые, при оптимальности платежей и с учётом интеграции, дадут возможность оценки рациональности и эффективности использования энергетических ресурсов – ключевых показателей потребления.

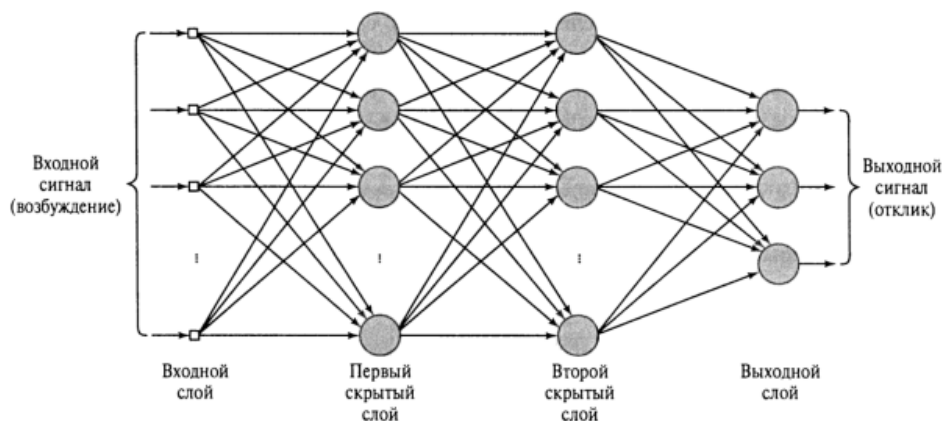
Их можно классифицировать как экономические, технико-экономические и технические. Статистическая отчетность, управленческий и технический учет на предприятии являются главными источниками информации по ключевым показателям потребления [3, 4].

На основании нормативных документов и сложившейся практики работы, на каждом предприятии осуществляется сбор информации и учет определенных показателей такой работы. Проблема эффективности в таком случае заключается в том, что каждое подразделение предприятия использует эти показатели применительно лишь к своей деятельности.

Мониторинг ключевых показателей энергопотребления даёт возможность, установив нормативы, прогнозировать энергопотребление, равно как и затраты на энергоресурсы в зависимости от объемов производства и, что важнее – выявлять очаги нерационального и неэффективного использования энергоресурсов [5, 6].



Мониторинг должен охватывать все объекты трансфера электроэнергии и мощности с целью получения полной картины баланса электроэнергии на этапах ее производства и распределения, передачи и потребления. На основе мониторинга можно создавать нейронные сети по прогнозированию спроса на ресурсы (см. рисунок).



Нейронные сети по прогнозированию спроса

Для решения задач мониторинга должна быть разработана соответствующая автоматизированная система. Источниками информации для такой системы должны стать уже эксплуатируемые в подразделениях различных сетевых компаний информационно-технологические автоматизированные системы и специализированные программно-технические комплексы (ПТК), в которых хранятся и обрабатываются измеренные и расчетные данные о значениях контролируемых параметров режима сети и энергопотребления, собираемые с устройств телемеханики, терминалов микропроцессорной релейной защиты и автоматики, устройств контроля показателей качества [7, 8].

Формирование и успешное функционирование системы мониторинга невозможно без использования современных средств измерения. Основными элементами для мониторинга потерь и показателей качества является интеллектуальный прибор учета, который передает необходимый набор телеметрических данных для контроля потерь, расчета, мониторинга балансов и выявления аварийных событий на объектах.

### Источники

1. Дарьян Л.А. Автоматизированная система мониторинга и диагностики оборудования подстанции: общие технические требования // Электроэнергия. Передача и распределение. 2015. № 1 (28). С. 82–88.

2. Мониторинг электропотребления и мощности [Электронный ресурс]. URL: <http://www.energsovet.ru/stenergo.php?idd=61> (дата обращения: 10.03.2021).

3. Простое устройство мониторинга энергопотребления [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/168783/> (дата обращения: 10.03.2021).

4. Марьин Г.Е., Менделеев Д.И., Гайнутдинов Р.Р. Анализ влияния основных параметров паротурбинного цикла на эффективность работы бинарных ПГУ // Электроэнергетика глазами молодежи – 2019: матер. юбил. X Междунар. науч.-техн. конф. Иркутск, 2019. Т. 1. С. 276–279.

5. Актуализация расчетных электрических нагрузок с последующим практическим применением на примере Республики Татарстан / Ю.И. Солуянов [и др.] // Промышленная энергетика. 2021. № 2. С. 32–40.

6. Энергосберегающие решения в распределительных электрических сетях на основе анализа их фактических нагрузок / Ю.И. Солуянов [и др.] // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № 5 (62). С. 68–73.

7. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е. Исследование влияния состояния оборудования блоков ПГУ и режимов их работы на выполнение заданного графика выработки электроэнергии // Энергия – 2018: матер. 13-й Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Иваново, 2018. Т. 1. 7 с.

8. Марьин Г.Е., Осипов Б.М. Критерии выбора составов топлив при их сжигании в газотурбинных установках с незначительными переделками топливной системы // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24, № 2 (151). С. 356–365.

УДК 621.1

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГТУ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ СТУДЕНТОВ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЯ**

Чичи Иносенсио Франсишко  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
txitxi2019@gmail.com  
Науч. рук. Б.М. Осипов

Посвящается актуальной на сегодняшний день проблеме – обучению студентов навыкам владения средствами технологий трехмерного моделирования. В том числе имитационному проектированию, для изучения сложных технических систем,

их анализа и управления. В частности, важным аспектом является внедрение трехмерной модели ГТУ для оптимизации процесса обучения студентов энергомашиностроения в рамках лабораторных работ.

**Ключевые слова:** учебный процесс, практическое занятие, оснащенность учебного процесса, трехмерные технологии моделирования, имитационная модель, моделируемая система.

В системе образования Российской Федерации происходят прогрессивные видоизменения, нацеленные на повышение качества образования [1]. Необходимость качественного образования в сфере энергомашиностроения обуславливается современными требованиями к результату работы.

Целью является использование трехмерной геометрической модели ГТУ. Это позволит улучшить качества учебного процесса в подготовке и проведении лабораторных работ, посредством применения современного программного обеспечения в процессе обучения студентов в области энергомашиностроения.

Как показала практика и исследования, студенты предпочитают визуальное обучение. Сложные процессы прогрессивнее усваиваются на наглядном примере в виде трехмерной модели ГТУ.

Следовательно, трехмерные геометрические модели ГТУ можно интегрировать как в теоретические, так и в практические занятия учебного процесса. Акцентировать внимание стоит на проведение лабораторных работ совместного с процессом изучения сборки-разборки ГТУ.

Следовательно, важно понять, каким образом должна выглядеть трехмерная геометрическая модель ГТУ для обучения студентов в рамках лабораторных работ и не только. Важно отметить, чтобы трехмерную геометрическую модель ГТУ можно было рассмотреть во всех плоскостях, в разных масштабах, а также в разных разрезах [2]. Это позволит эффективно изучить процесс сборки и разборки ГТУ, визуализировать детали, активизировать процессы обучения (рис. 1).

Не менее важным аспектом является процесс создания трехмерной геометрической модели ГТУ. Следует разработать целую систему подготовки к созданию модели, начиная со сбора всех технических характеристик, заканчивая построением чертежей для будущей модели (рис. 2).

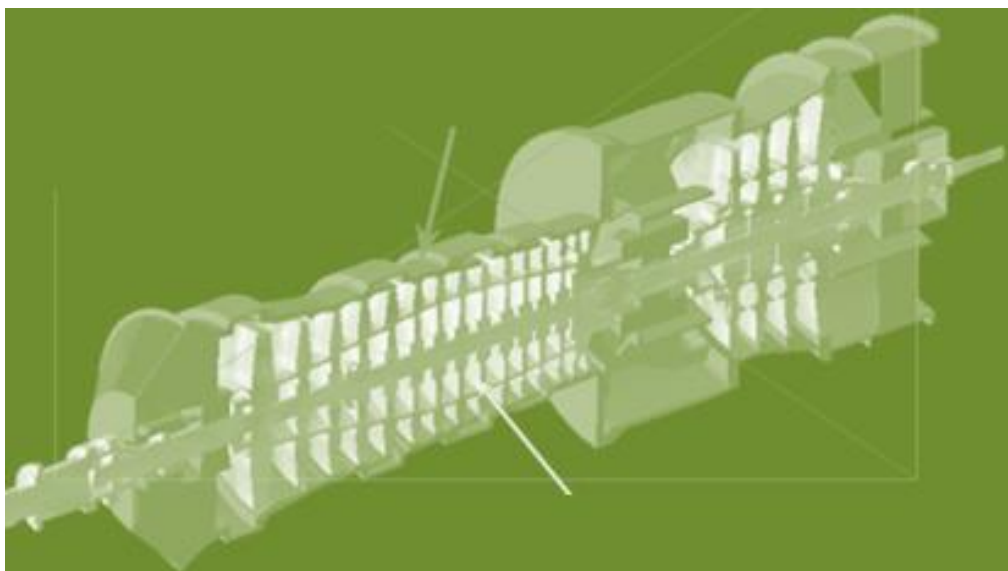


Рис. 1. Пример вида трехмерной модели газотурбинной установки

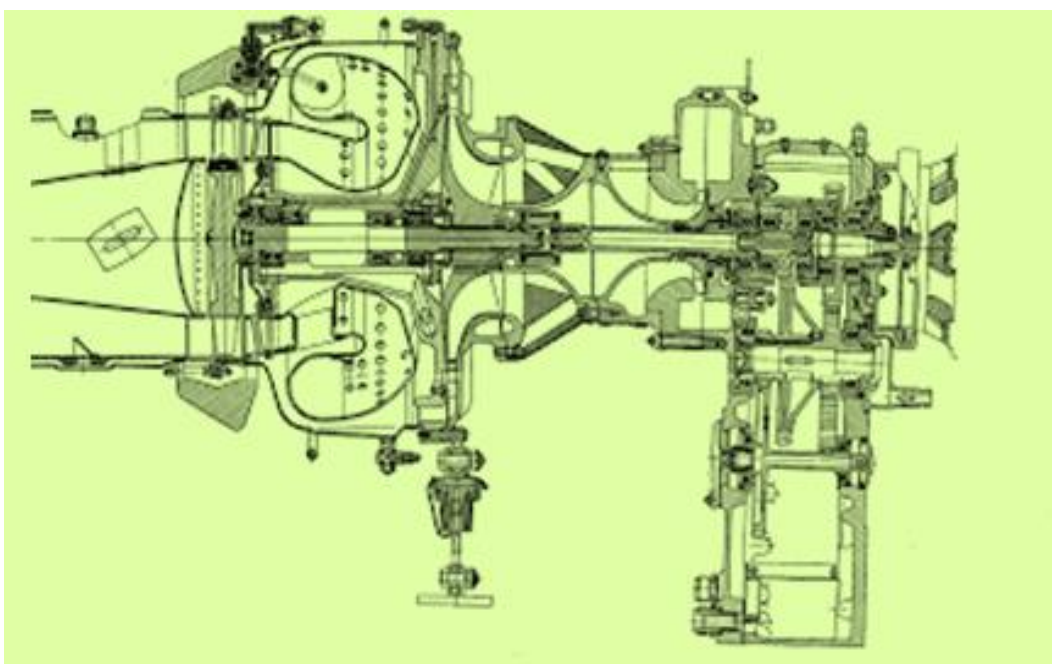


Рис. 2. Пример построения одного из чертежей для создания трехмерной модели ГТУ

В рамках лабораторных работ в процессе обучения студентов в области энергомашиностроения современные программы трехмерного моделирования позволяют сконцентрироваться на конкретной поставленной задаче об анализе ГТУ, как конструктивной единицы, и с другой стороны, позволит студентам ознакомиться с современными трехмерными технологиями для дальнейшей их профессиональной работе.

Накопленный практический опыт применения трехмерного геометрического моделирования в проектировании и исследовании сложных технических систем, таких как ГТУ, позволяет судить о высокой эффективности данного подхода при принятии решений, учитывающих множество взаимодействующих факторов, таких как нелинейность, неравномерность процессов функционирования такой сложной технической системы. Кроме того, использование имитационного моделирования расширяет диапазон решаемых задач, связанных с разработкой и принятием решений в условиях неопределенности и недостатка информации [3].

Построение имитационной модели ГТУ для проведения лабораторных работ включает в себя структурный анализ моделируемой системы и разработку функциональной модели, отражающей динамические параметры моделируемой системы [4].

Потребность в предоставлении трехмерных геометрических моделей ГТУ возникает при модернизации образовательной системы в сфере энергомашиностроения. Также, следует учитывать, что требования к будущим специалистам возрастают каждый день. Визуализация всех составных частей ГТУ, процессов, деталей, поможет быстрее и эффективнее задействовать учебное время, а лабораторные работы, сопровождающиеся 3D-моделями ГТУ, будут объективно диагностировать успеваемость студента. Именно поэтому визуализация будет способствовать более эффективному обучению студентов.

На данный момент использование трёхмерных геометрических моделей ГТУ в процессе обучения студентов не только востребовано, но и доступно. Ведь существует множество средств программного обеспечения для студентов с использованием 3D-моделирования, например, КОМПАС 3D, SolidWorks и др..

Таким образом, актуальность работы данной работы определяется необходимостью создания условий для развития и самореализации студентов в процессе обучения, с помощью внедрения трёхмерных моделей ГТУ в процесс обучения. Более того, внедрение 3D-технологий в процесс обучения способно познакомить студентов с современным программным обеспечением, что также будет способствовать подготовке успешных специалистов в области энергомашиностроения.

### **Источники**

1. Федеральная целевая программа развития образования на 2016–2020 годы [Электронный ресурс]: утв. Постановлением правительства Рос. Федерации от 23 мая 2015 г. № 497. URL: <http://government.ru/media/files/usb6wfrbuds4stde6spgjaepm89lzuf.pdf> (дата обращения: 18.02.2021).

2. Итоги круглого стола «Оптимизация 3D-моделирования в рамках мелкосерийного производства» [Электронный ресурс]. URL: <http://1aya.ru/paper/art-242113.php> (дата обращения: 18.02.2021).

3. Лаврушина Е.Г., Гаевой С.С. Построение имитационной модели оптимизации количества сотрудников склада при отгрузке готовой продукции птицефабрики [Электронный ресурс] // Наукоеведение. 2014. Вып. 3 (22). URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/56EVN314.pdf> (дата обращения: 18.02.2021).

4. Жеребцов А., Белошапко А. Имитационное моделирование как инструмент оптимизации производственных процессов в металлургии // Рациональное управление предприятием. 2009. № 6. С. 29–31.

УДК 621.311

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕСТ УСТАНОВКИ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

И.Э. Шакиров, Р.М. Галяутдинов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[hildevalaina@inbox.ru](mailto:hildevalaina@inbox.ru)

Науч. рук. И.Н. Маслов

Приводятся основные виды тепловых насосов, рассматриваются места их установки. Разобраны отдельно взятые принципиальные схемы двух видов теплонасосов. Оценивается разница между тепловыми насосами, использующие разные источники энергии.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка, тепловой насос, низкопотенциальная энергия, хладагент.

На данный момент тепловые насосы (ТН) широко используются за рубежом, но слабо развиты в Российской Федерации. Несмотря на это, перспективы развития тепловых насосов обуславливаются их эффективностью, экологической чистотой и надежностью. В качестве потребителя тепла могут выступать как частный сектор, так и различные предприятия (сельское хозяйство, ЖКХ и т.д.). Тепловые насосы (ТН) делятся, главным образом, на абсорбционные тепловые насосы (АТН) и парокомпрессионные тепловые насосы (ПТН). ПТН – это устройство, которое отбирает низкопотенциальную энергию окружающей среды и преобразует в высокопотенциальное или наоборот. Это самое развитое направление тепловых насосов, которое, в свою очередь, подразделяется на разные источники тепла: вода, грунт, воздух. Такие насосы работают благодаря хладагентам

(фреонам), которые могут замерзнуть при отрицательных температурах [1–3]. Тепловые насосы, использующие тепло воздуха, самые дешевые в установке, а использующие тепло грунта, наоборот, дорогие. Водные ТН привязаны к водоемам (озера, реки, подземные воды). Данные установки можно использовать при положительном показателе температуры источника по шкале Кельвина, но чем меньше температура, тем меньше эффективность. Для выбора способа установки необходимо учитывать особенности климата и местности, а также экономические возможности [4–6].

В условиях сурового климата выгодным представляются грунтовые теплонасосы с различными способами установки: горизонтальные коллекторы, вертикальные скважины, скважины под наклоном.

На рис. 1 представлен тепловой насос с вертикальным расположением теплообменников. Главным преимуществом данной системы является переключаемость режимов теплоснабжения и холодоснабжения. Помимо этого, пары теплообменников могут работать одновременно или попеременно в зависимости от температуры среды. В земле расположены одна или несколько пар труб, состоящих из внешней трубы 1 и внутренней трубы 2. Циркуляционный насос 3 переносит нагретый теплоноситель по трубе 2 в тепловой насос 4, который преобразует тепло для потребителя 5.

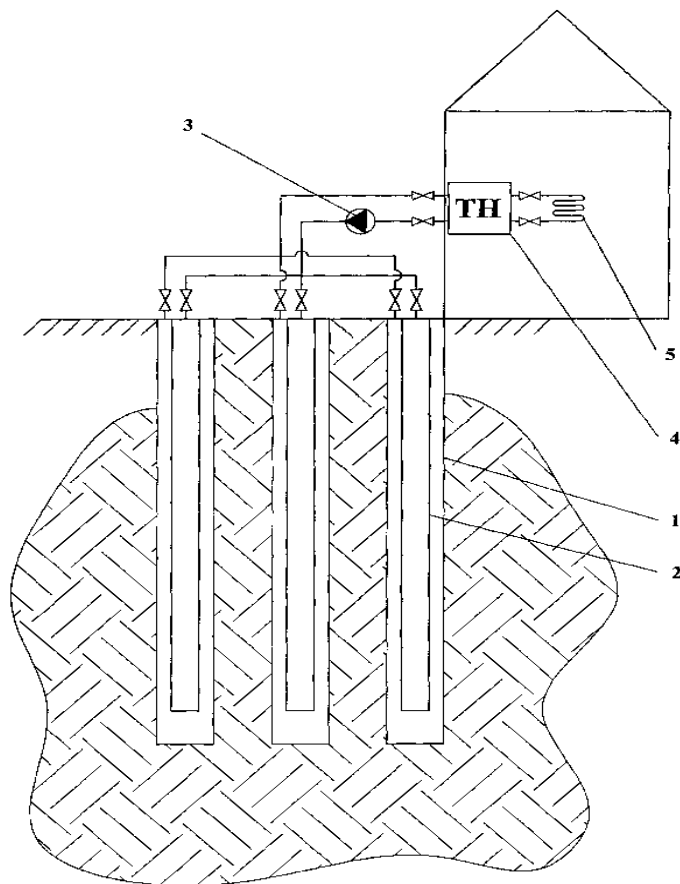


Рис. 1. Геотермальная теплонасосная система теплоснабжения и холодоснабжения зданий и сооружений

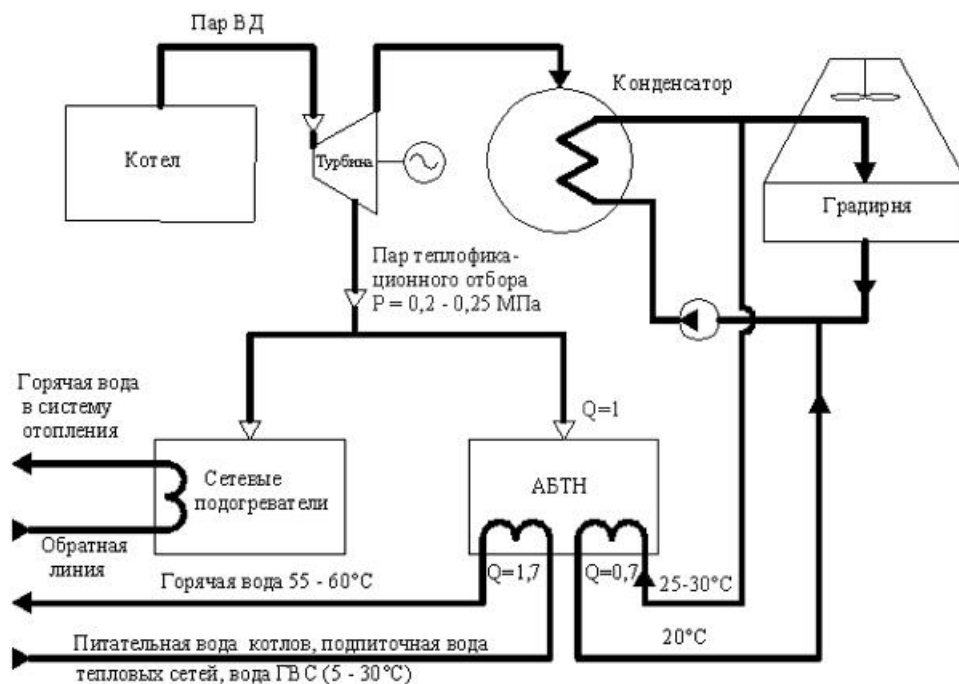


Рис. 2. Схема применения АБТН на ТЭЦ

Абсорбционные тепловые насосы, рис. 2, делят на водоаммиачные и солевые. Солевые больше распространены, в них используется  $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$  – водный раствор соли бромистого лития – АБТН. Такие установки можно эффективно использовать на ТЭЦ в качестве замены дополнительных котлов. Устанавливают их там, где есть достаточно большой источник энергии [7, 8]. АБТН увеличивает теплофикационную способность ТЭЦ без дополнительного расхода топлива. Сравнивая парокompрессионные и абсорбционные тепловые насосы, первые используют более опасные вещества – фреоны, имеют больший срок службы и меньший срок окупаемости. Следовательно, АБТН более выгодно для использования на ТЭЦ. Таким образом, тепловые насосы актуальны для эксплуатации в энергетике.

### Источники

1. Попов А.В. Анализ эффективности различных типов тепловых насосов // Проблемы энергосбережения. 2005. № 1-2. С. 27–31.
2. Шерязов С.К., Пташкина-Гирина О.С., Низамутдинова Н.С. Экономические показатели возобновляемой энергетики // Вестник НГИЭИ. 2019. № 2 (93). С. 48–58.
3. Полякова, В.Ю., Калинина Т.О., Кичин К.В. Анализ энергоэффективности тепловых насосов в системах теплоснабжения по территориально-климатическому // Молодой ученый. 2016. № 27. С. 142–146.



4. Марьин Г.Е., Менделеев Д.И., Гайнутдинов Р.Р. Анализ влияния основных параметров паротурбинного цикла на эффективность работы бинарных ПГУ // Электроэнергетика глазами молодежи – 2019: матер. юбил. X Междунар. науч.-техн. конф. Иркутск, 2019. Т. 1. С. 276–279.

5. Актуализация расчетных электрических нагрузок с последующим практическим применением на примере Республики Татарстан / Ю.И. Солуянов [и др.] // Промышленная энергетика. 2021. № 2. С. 32–40.

6. Энергосберегающие решения в распределительных электрических сетях на основе анализа их фактических нагрузок / Ю.И. Солуянов [и др.] // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № 5 (62). С. 68–73.

Менделеев Д.И., Марьин Г.Е. Исследование влияния состояния оборудования блоков ПГУ и режимов их работы на выполнение заданного графика выработки электроэнергии // Энергия – 2018: матер. 13-й Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Иваново, 2018. Т. 1. 7 с.

8. Марьин Г.Е., Осипов Б.М. Критерии выбора составов топлив при их сжигании в газотурбинных установках с незначительными переделками топливной системы // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24, № 2 (151). С. 356–365.

УДК 621.438, 662.7

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СТАЦИОНАРНОЙ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ**

К.О. Ямщиков<sup>1</sup>, М.В. Савина<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>kirill193728@mail.ru, <sup>2</sup>pmv\_83@mail.ru,

Проведена оценка влияния климатических условий (атмосферного давления, относительной влажности и температуры наружного воздуха) на характеристики энергетических газотурбинных установок. Подчеркнута необходимость воздействия на параметры воздуха на входе в компрессор для обеспечения эффективной работы установок.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка тепловой электростанции, температура наружного воздуха, коэффициент полезного действия, электрическая мощность.

Эксплуатационные характеристики газовых турбин существенно зависят от параметров окружающего воздуха. Вследствие этого происходит значительная потеря электрической мощности в летнее время.

Так, авторами [1] было исследовано и проанализировано изменение полезной работы и коэффициента полезного действия цикла газотурбинных установок в зависимости от атмосферного воздуха для технологической схемы моноблока Ереванской ЭКПГЦ, включающей рассматриваемую далее ГТУ GT13E2. Исходя из стандартных параметров воздуха (температура составляет 15 °С, барометрическое давление – 101,3 кПа, относительная влажность – 60%) определяются геометрические характеристики элементов проточных частей осевого компрессора и газовой турбины ГТУ [2].

В качестве исходных климатических параметров для расчета газовой турбины GT13E2 были выбраны следующие значения:

- мощность ГТ – 180 МВт;
- давление воздуха за компрессором – 1,71239 МПа;
- расход топлива – 565 кг/с;
- расчетные условия окружающей среды: температура – +15 °С, атмосферное давление – 0,101325 МПа, относительная влажность – 60 %;
- низшая теплота сгорания газообразного топлива – 50 000 кДж/кг.

На рис. 1–3 приведены графики изменения таких ключевых параметров работы газовой турбины как температура газов на выходе из ступени, втулочный и средний диаметр ступени, осевая скорость.

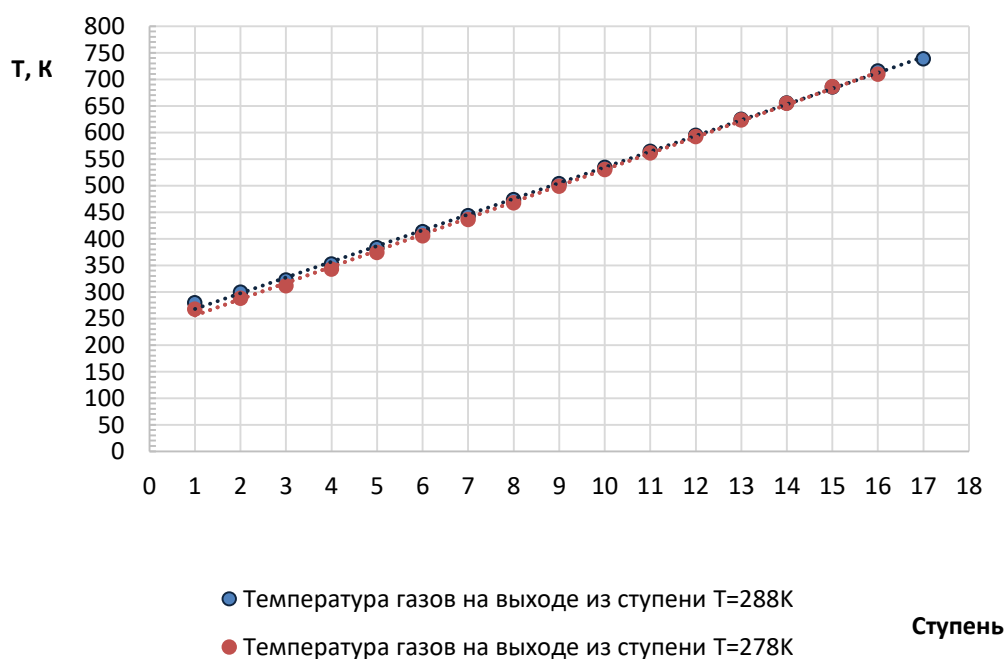


Рис. 1. Изменение температуры газов на выходе из ступени

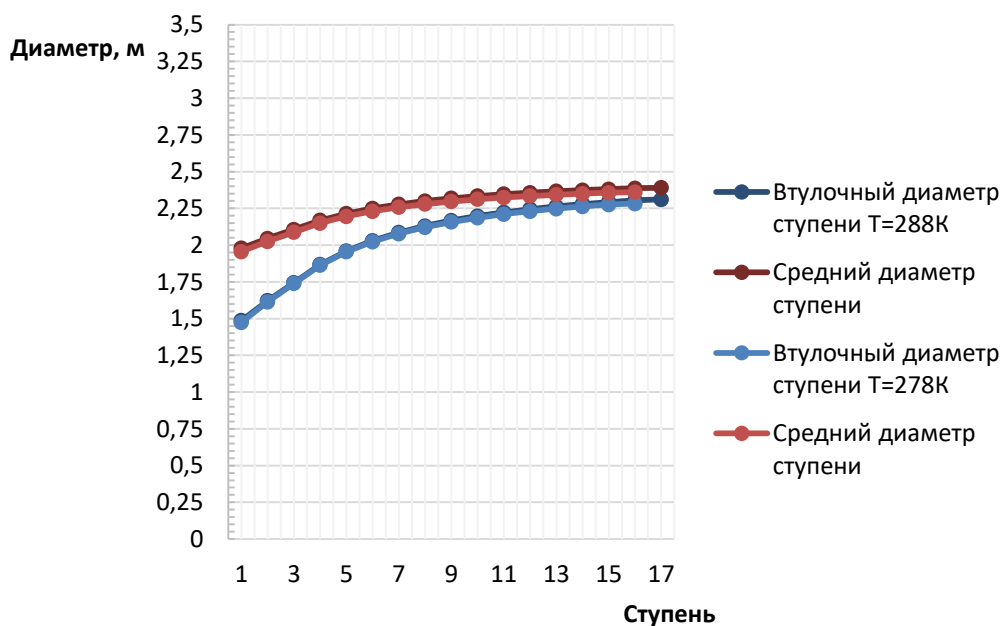


Рис. 2. Изменение геометрических характеристик ступеней

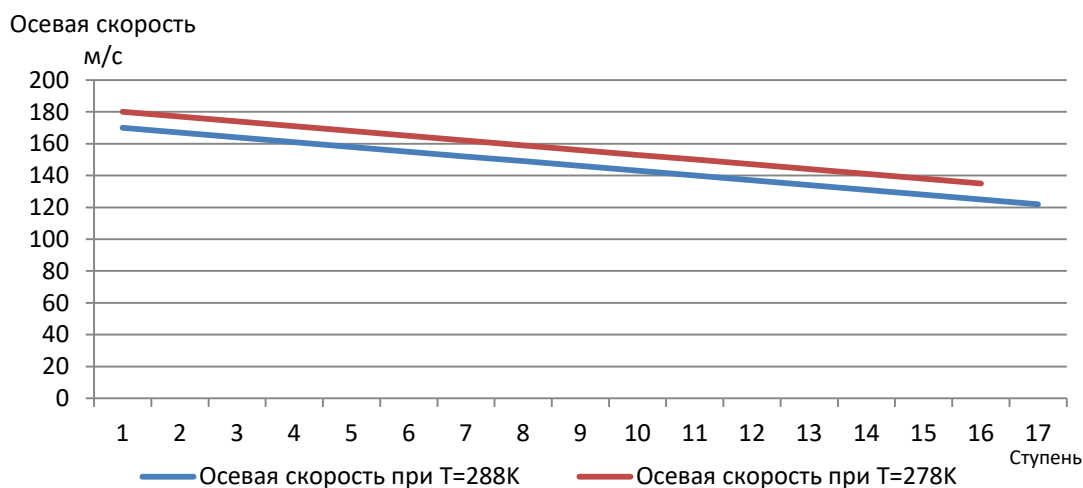


Рис. 3. График осевых скоростей

#### Выводы:

1. В работе проведена оценка влияния климатических условий на характеристики ГТУ.

2. Для газовой турбины GT13E2 было определено, что понижение температуры наружного воздуха на  $10^{\circ}\text{C}$  приводит к уменьшению числа ступеней и температуры уходящих газов, осевая скорость при этом возрастает.

3. Надежность работы ГТУ в переменных климатических условиях будет выше при правильном управлении параметрами воздуха (приблизженными к расчетным) на входе в компрессор.

4. В работе также было выявлено, что изменение наружного воздуха на 10 °С положительно влияет на экономичность ГТУ и КПД, увеличивая данные показатели.

### Источники

1. Оганесян Л.С., Хачатрян Р.Г. Влияние природно-климатических условий на работу газотурбинных установок армянской энергосистемы // Вестник НПУА. Электротехника, Энергетика. 2015. № 2. С. 49–61.

2. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремизов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: учеб. пособие для вузов / под ред. С.В. Цанева. 2-е изд., стереот. М.: ИД МЭИ, 2006. 584 с.

УДК 62-621.2

## ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ В ТОПЛИВЕ МЕТАНО-ВОДОРОДНОЙ ФРАКЦИИ

В.И. Яшанин<sup>1</sup>, П.В. Дунаев<sup>2</sup>, К.О. Салимов<sup>3</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>vlad1997306@gmail.com, <sup>2</sup>dpv89@mail.ru, <sup>3</sup>Kamil.salimov2019@gmail.com

Науч. рук. М.А. Таймаров

Расчитан ГТУ при сжигании топлив с разным содержанием метано-водородной фракции. Расчёт производился в «Автоматизированной системе газодинамических расчётов энергетических турбомашин» (АС ГРЭТ), для режима работы ГТУ, где температура газов на выходе из КС составляла 1 483 К, а мощность потребляемая электрогенератором – 110 МВт.

**Ключевые слова:** метано-водородной фракция, топливной смесь, коэффициент полезного действия, газотурбинная установка, удельная теплота сгорания, расход топлива, природный газ.

Благодаря отсутствию вредных выбросов при сгорании, а также высокой теплотворной способности, водород уже в наше время может экономически эффективно применяться в качестве топлива при производстве электроэнергии на основе топливных элементов. Также большой интерес представляет применение водорода в качестве добавки к топливной смеси (ТС).

Максимальная единичная мощность ГТУ достигла к настоящему времени 300 МВт, КПД при автономной работе составляет 36–38 %. В ГТУ, созданных на базе авиадвигателей с высокими степенями повышения давления, КПД достигает 40 %, начальная температура газов – 1300...1500 °С, степени сжатия – 20...30 [1].

При создании или модификации с современными ГТУ на метано-водородной смеси КПД может превысить 50 %, а в сочетании с тепловыми отопительными нагрузками полезное использование газа может быть доведено до 60 %.

Содержание водорода в МВС может изменяться от 0 до 50 % как при изменении температуры нагрева исходного углеводорода, изменения давления и состава катализатора, так и путем разбавления МВС природным газом.

Главная роль водорода в метано-водородной смеси – это снятие ограничения на состав топливно-воздушной смеси и повышение устойчивости горения «сверхбедных» смесей [1].

В данной работе на основании математической модели производится дроссельный (внутренний) расчёт двигателя для трёх составов топливного газа по заданным характеристикам, а именно:  $T_T$  (К) – температура газа в камере сгорания (перед турбиной), используемая для расчета расхода топлива;  $Q_H^P$  (кДж/кг) – низшая теплотворная способность заданного топлива;  $L_0$  (кг/кг) – количество воздуха, теоретически необходимое для полного сгорания 1 кг топлива.

В качестве прототипа берётся одновальная газовая турбина ГТД-110, предназначенная для привода электрогенераторов в составе газотурбинных энергетических и парогазовых установок большой мощности (от 110 до 495 МВт) [2].

Были получены следующие зависимости: сжигание в камере сгорания топлива с более высоким содержанием метано-водородной фракции, а значит и с более высокой удельной теплотой сгорания и температурой горения, приводит к снижению расхода топлива. Так как температура горения МВФ выше, чем у природного газа, для получения необходимой температуры продуктов сгорания на выходе из КС, необходимо понизить расход топлива. Снижение расхода топлива, в конечном итоге, приводит к увеличению КПД турбоустановки.

При добавлении к природному газу метано-водородной фракции понижается часовой расход топлива (при заданных  $T_T = 1483$  К – для всех режимов). Изменение этого параметра напрямую влияет на коэффициент полезного действия турбоустановки [3].

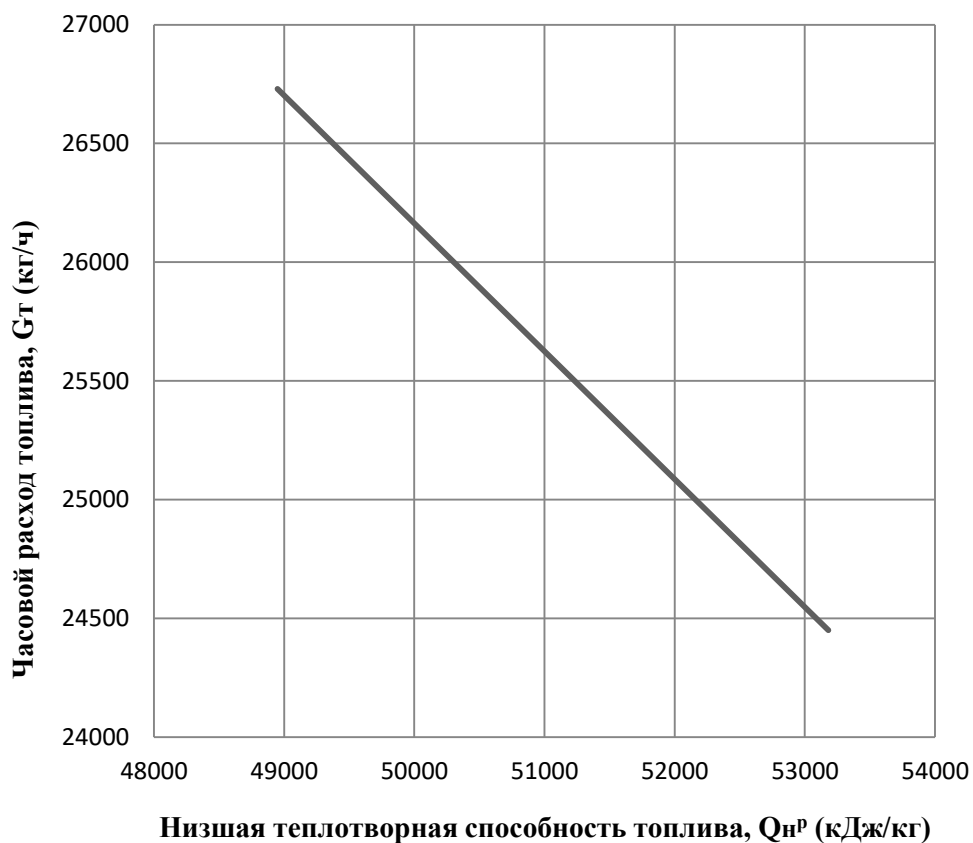


Рис. 1. Диаграмма зависимости часового расхода топлива (кг/ч) от низшей теплотворной способности топлива (кДж/кг)

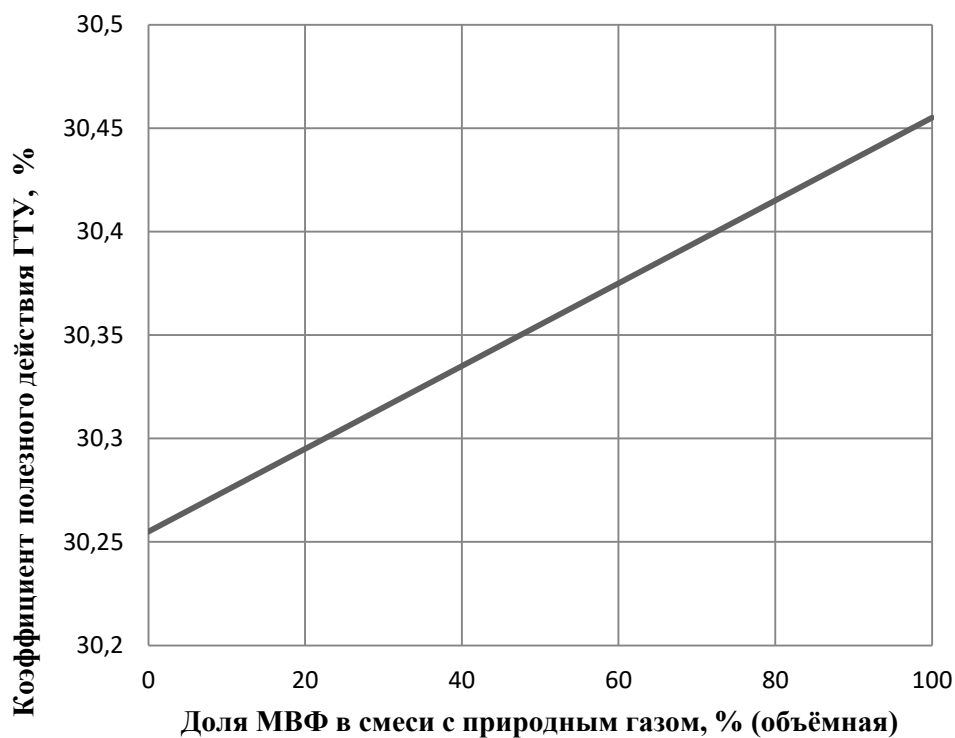


Рис. 2. Диаграмма зависимости коэффициента полезного действия ГТУ (%) от содержания в топливе МВФ (%)

Таким образом, сжигание в ГТУ топлива с более высоким содержанием (по объёму) метано-водородной фракции, а значит и с более высокой удельной теплотой сгорания, приводит к снижению расхода топлива, что в свою очередь приводит к увеличению КПД турбоустановки.

### **Источники**

1. Концепция крупномасштабного развития инновационных систем производства и распределения метан-водородного топлива как эффективного альтернативного энергоносителя / О.Е. Аксютин [и др.] // Матер. XXV Мирового газового конгресса. Малайзия, Куала-Лумпур, 2012. С. 9–10.

2. «ГТД-110М» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.npo-saturn.ru/?sat=70> (дата обращения: 14.03.2021).

3. Абрамчук Ф.И., Кабанов А.Н., Майстренко Г.В. Влияние добавки водорода к природному газу на свойства смесового топлива // Автомобильный транспорт. 2009. № 24. С. 45–49.

## Секция 4. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

УДК 629.4

### СОВРЕМЕННЫЙ ПОЛУВАГОН С ОБЛЕГЧЕННЫМ КУЗОВОМ

Ф.С. Галимова

Ташкентский государственный транспортный университет, г. Ташкент

farida.galimova.2020@inbox.ru

Описаны основные пути совершенствования конструкции подвижного состава железных дорог для повышения эффективности их использования. Проведены численные эксперименты по оптимизации толщин несущих деталей кузова полувагона и проверен на прочность полувагон оптимизированной конструкции. В статье на основании проведенных исследований разработаны конкретные технические предложения по применению высокопрочных сталей в конструкции полувагонов разработки и производства ДП «Литейно-механический завод».

**Ключевые слова:** подвижной состав, полувагон, кузов, высокопрочная сталь, прочность, напряжения.

В Узбекистане придаётся большое значение развитию международных коридоров, проходящих через территорию республики, обновлению транс-портных магистралей, а также совершенствованию транспортной инфраструктуры Узбекистана [1–4]. Для комплексного решения вопросов увеличения объёмов международных перевозок грузов, и привлечения транзитного грузопотока через территорию республики, постоянно ведётся активная работа над повышением качества услуг, предоставляемых транспортными и логисти-ческими компаниями республики [5, 6]. В связи с этим, одним из приоритетов экономического развития республики стало внедрение на предприятиях Узбекистана современных энерго-сберегающих и ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих экономное использование сырья, материалов и энергоресурсов при строительстве единиц подвижного состава (вагонов и локомотивов) [7–9].

**Актуальность исследований.** Существует несколько основных путей совершенствования конструкции вновь строящихся однотипных единиц подвижного состава железных дорог для повышения эффективности их использования: повышение грузоподъёмности и снижение коэффициента тары вагонов, увеличение объема кузова и снижение затрат на эксплуатацию [10–14].



Повысить грузоподъемность, например, универсального полувагона модели 12-9922 с осевой нагрузкой 23,5 тс и объемом кузова 92 м<sup>3</sup> производства Республики Узбекистан [15–17] можно за счет снижения массы тары (см. рисунок). Ведущие зарубежные вагоностроительные предприятия активно внедряют высокопрочные марки сталей, позволяющие снизить тару вагонов не в ущерб запаса прочности [18, 19]. Отмечено, что незначительное уменьшение тары одного вагона приводит к возрастанию провозной способности на железных дорогах в целом, так как увеличивается масса нетто поездов, состоящих из вагонов с малыми коэффициентами тары [20, 21]. Сохранение габаритных размеров вагонов и снижение их тары обеспечивает сокращение парка подвижного состава и потребности в строительстве новых путей для увеличения пропускной способности [22–24]. Кроме того, экономятся металл на постройку вагонов и локомотивов, электроэнергия и топливо, расходуемое локомотивами, снижается себестоимость перевозок.



Общий вид кузова полувагона модели 12-9922 разработки и производства  
ДП «Литейно-механический завод»

Тщательное проектирование и оптимизация конструкций вагонов всех типов, при условии максимального использования разрешенного габаритного пространства приводит к значительному росту рентабельности грузовых перевозок.

В современной конкурентной среде подвижной состав с улучшенными параметрами вызывает наибольший интерес у потребителя. Отметим, что на рынке Республики Узбекистан на ДП «Литейно-механический завод», ремонтная база которого была обновлена в 2012 году [25], и ДП «Андижанский механический завод» несущие детали кузова и рамы четырехосного полувагона с разгрузочными люками выполнены из сталей класса прочности ниже 390 МПа. Имеется не занятая ниша по внедрению деталей полувагонов из высокопрочных сталей марок 16Г2АФ и 18Г2АФпс класса прочности 440 МПа [18, 19], освоение которой позволит занять лидирующее положение на рынке универсальных грузовых вагонов. Поэтому разработка конкретных технических предложений по применению высокопрочных сталей в конструкции полувагонов производства Республики Узбекистан, с целью снижения коэффициентов тары и повышения надежности в эксплуатации, является актуальной.

**Исследования по совершенствованию конструкции полувагона.** Конкретный эффект и целесообразность использования высокопрочных сталей в несущих деталях полувагона модели 12-9922 были определены с применением технологии цифрового прототипирования в среде современных инженерных программ [7–9].

На первом этапе был рассчитан на прочность по двум основным расчетным режимам полувагон-аналог модели 12-9922, определены зоны повышенной концентрации напряжений. Затем на втором этапе проведен численный эксперимент по оптимизации толщин несущих деталей кузова и рамы, изготовленных из высокопрочных сталей класса прочности 440 МПа, проверен на прочность полувагон альтернативной конструкции. Основные технические параметры полувагона модели 12-9922 приведены в табл. 1.

В результате расчета на прочность аналогового четырехосного универсального полувагона модели 12-9922, производства ДП «Литейно-механический завод» [15-16], были получены следующие результаты:

1) при I расчетном режиме максимальные эквивалентные напряжения в элементах кузова составляют: в концевой балке (при ударе) 309 МПа (95,1 % от допускаемых напряжений).

2) при III расчетном режиме максимальные эквивалентные напряжения в элементах кузова составляют: в поясе торцевой стены (при ударе) 189 МПа (92,2 % от допускаемых напряжений).

Итак, по I и III расчетным режимам наблюдается высокая нагруженность стоек боковых стен, верхней обвязки, хребтовой балки, листов шкворневых и концевых балок. Кроме того, по I режиму текущие максимальные напряжения близки к допускаемым в каркасе торцевой стены, обвязке крышки люка.

Таблица 1

Основные технические параметры и габаритные размеры универсального полувагона модели 12-9922 производство ДП «ЛМЗ»

Наименование параметров	Нормы по параметрам
Грузоподъемность, т, не более	70
Масса полувагона (тара), т	23,5±0,2
Объем кузова, м <sup>3</sup> , не менее	92
Нагрузка от оси колесной пары на рельсы, кН (тс), не более	230 (23,5)
Длина полувагона по осям сцепления автосцепок, мм	13 920 <sup>+20</sup>
Удельный объем, м <sup>3</sup> /т	1,295
Удельная материалоемкость (отношение массы тары к объему), т/м <sup>3</sup>	0,244
Конструкционная скорость, км/ч, не более	120
Ширина колеи, мм	1520
Габарит по ГОСТ 9238	I-ВМ
Длина рамы по лобовым балкам, мм	12 700
База полувагона, мм	8 650
Срок службы, лет	22

По результатам проведенных расчетов можно сделать вывод, что прочность универсального полувагона-аналога модели 12-9922 с разгрузочными люками и осевой нагрузкой 23,5 тс, разработки и производства ДП «Литейно-механический завод» при основных нагрузках по I и III расчетным режимам удовлетворяет нормативным требованиям [26].

Выявленные в расчетах наиболее нагруженные детали полувагона-аналога, имеют наибольший поток отказов в эксплуатации. Поэтому, при дальнейшей оптимизации толщин этих деталей и замене марки стали на высокопрочную, следует увеличить запас их прочности.

Использование высокопрочных сталей марок 16Г2АФ и 18Г2АФпс с пределом текучести 440 МПа в несущих деталях полувагона-аналога, приведет к появлению резерва по прочности, при неизменных граничных условиях. Уменьшение толщин деталей устранил полученный резерв и позволит снизить тару полувагона из высокопрочной стали, без ущерба для его прочности.

С этой целью на втором этапе проведен сравнительный численный эксперимент и рассчитана прочность полувагона от действия основных нагрузок по I и III расчетным режимам, элементы кузова которого изготовлены из высокопрочной стали с минимальным пределом текучести 440 МПа [26].

Во время оптимизации конструкции полувагона-аналога модели 12-9922 производства ДП «Литейно-механический завод» неизменными оставались граничные условия в расчетной модели, конечно-элементная сетка, геометрия узлов и деталей полувагона, а изменялись только толщины несущих деталей.

В инженерной программе Ansys Workbench рассчитано более десяти вариантов полувагона с различными толщинами несущих элементов из стали класса прочности 440 МПа, и определено напряженное состояние от действия совокупности основных нагрузок по I и III расчетным режимам. Оптимальным вариантом считался тот, при котором максимальные напряжения во всех элементах не превышали соответствующих допускаемых напряжений для стали класса прочности 440 МПа.

Толщины несущих деталей кузова полувагона из сталей класса прочности 440 МПа, полученные в результате оптимизации, указаны в табл. 2.

Таблица 2

Толщины несущих деталей кузова полувагона модели 12-9922

Название детали	Толщина детали полувагона-аналога модели 12-9922, мм	Толщина детали из стали класса прочности 440 МПа, мм
<b>Стена боковая</b>		
Лист обшивки	4	3,6
Стойка угловая	8	7
Стойка	9/13	8/12
Обвязка нижняя	12	8
<b>Хребтовая балка</b>		
Балка (двугавровый профиль)	9	8
<b>Балка промежуточная</b>		
Лист верхний	8	5
Лист вертикальный	8	6
Лист нижний	10	6
<b>Торцевая стена</b>		
Стойка	10	6
Стойка (угловая)	4,8/7,8	4/6
Пояс	8	6
Лист обшивки	4,5	4
<b>Балка концевая</b>		
Лист концевой	7	5
Лист верхний	8	6
Лист вертикальный	6	4
<b>Балка шкворневая</b>		
Лист вертикальный	8	5
Лист верхний	10	6
Лист нижний	12	8
<b>Крышка люка</b>		
Усиление заднее	5	4
Лист крышки люка		
Обвязка передняя/ правая/ левая	5/5/5	4/4/4

Марка стали и толщины деталей модернизированного полувагона, не вошедших в табл. 2, остались без изменений. Внедрение высокопрочных сталей класса прочности 440 МПа в этих элементах нецелесообразно с технической и экономической точки зрения.

В узлах оптимизированного полувагона от действия основных нагрузок по I и III расчетным режимам, несущие детали которого изготовлены из высокопрочной стали класса прочности 440 МПа, а толщины соответствуют табл. 2, были получены следующие максимальные эквивалентные напряжения по теории Мизеса:

1) при I расчетном режиме максимальные эквивалентные напряжения в элементах кузова составляют: на хребтовой балке в зоне заделки в шкворневую балку зетобразного профиля (при сжатии) 382 МПа (96,5 % от допускаемых напряжений) и в зоне заделки в шкворневую балку двутаврового профиля (при сжатии) 368 МПа (92,9 % от допускаемых напряжений);

2) при III расчетном режиме максимальные эквивалентные напряжения в элементах кузова составляют: на боковой стене в промежуточной стойке (при растяжении) 259 МПа (95,9 % от допускаемых напряжений), в угловой стойке (при растяжении) 254 МПа (94,1 % от допускаемых напряжений), на промежуточной балке в вертикальном листе (при сжатии) 257 МПа (95,2 % от допускаемых напряжений).

Как видно из результатов, уменьшение толщин основных несущих элементов кузова и рамы полувагона из высокопрочной стали не привело к превышению допускаемых напряжений по I и III расчетным режимам.

**Заключение.** На основании проведенных исследований установлено, что для улучшения конструкции кузова полувагона, семь сборочных узлов полувагона (боковые и торцевые стены; хребтовая, шкворневые, концевые, промежуточные балки; крышки люков), наиболее уязвимые в эксплуатации, необходимо изготовить полностью из высокопрочных сталей с пределом текучести 440 МПа. Уменьшение толщин более 20 деталей в этих узлах на 12–38 % не принесло ущерба прочности конструкции.

Таким образом, за счет внедрения высокопрочных сталей марок 16Г2АФ и 18Г2АФпс с пределом текучести 440 МПа и снижения толщин металлоемких деталей кузова (табл. 2), удалось снизить массу тары оптимизированного полувагона до 21,5 т и повысить его грузоподъемность на 2 т, до 72 т.

## Источники

1. Об ускорении развития инфраструктуры, транспортного и коммуникационного строительства в 2011–2015 годах: постановление Президента Республики Узбекистан от 21 декабря 2010 г. № ПП-1446.
2. Расулов М.Х., Ибрагимов У.Н., Рахимов Р.В. Проблемы повышения конкурентоспособности отечественных железнодорожных коридоров // Научные труды Республиканской научно-технической конференции с участием зарубежных ученых «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». Ташкент: ТашИИТ, 2013. С. 14–17.
3. Рахимов Р.В., Галимова Ф.С. Прогрессивные технологии для развития межгосударственных железнодорожных перевозок // Международный Научный Институт «Educatio». 2015. № 8 (15). С. 86–88.
4. Рахимов Р.В., Заирова Д.Н. Ўзбекистон Республикасининг транзит потенциалли ошириш йўллари // Вестник ТашИИТ. 2017. № 1. С. 120–127.
5. Raximov R.V., Galimova F.S. Introduction of modern technologies in the enterprise SJSRC “O’zbekiston temir yo’llari” // Bulletin of Tashkent State Technical University. 2015. Vol. 3. Pp. 159–164.
6. Рахимов Р.В. Новое мультимодальное транспортное средство производства Республики Узбекистан // Транспортная логистика, мультимодальные перевозки: тр. Респ. науч.-техн. конф. с участием зарубежных ученых. Ташкент, 2012. С. 134–136.
7. Ергашев З.З., Рахимов Р.В., Галимова Ф.С. Внедрение цифрового прототипа на вагоностроительные предприятия Узбекистана // Вестник ТашИИТ. 2014. № 2/3. С. 43–46.
8. Rahimov R.V., Khatamov S.A., Rakhmatov Z.X. Scientific substantiation of technical solutions for the improvement of the construction of the body of a hopper car for transportation of cement produced in the Republic of Uzbekistan // European Science Review. 2017. Is. 3-4. Pp. 13–17.
9. Рахимов Р.В., Заирова Д.Н., Галимова Ф.С. Ўзбекистон темир йўллари АЖ корхоналарида янги вагонларни куришда ракамли прототип технологиясини тадбиқ этиш // Вестник ТашИИТ. 2015. № 3/4. С. 54–60.
10. Рузметов Я.О., Рахимов Р.В. Перспективы развития вагоностроения в Республике Узбекистан // Проблемы и перспективы развития вагоностроения: сб. науч. тр. VIII Всерос. науч.-практ. конф. Брянск, 2019. С. 147–150.
11. Рахимов Р.В. Состояние и перспективы развития вагонного парка железных дорог Узбекистана // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: матер. XIII Междунар. науч.-техн. конф. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2018. С. 124–128.
12. Рахимов Р.В. Выбор направлений развития вагонного парка железных дорог Узбекистана // Транспорт Российской Федерации. 2018. № 1 (74). С. 71–74.

13. Rahimov R.V. Ruzmetov Ya.O. Analysis of the state and prospects of the development of the freight wagon fleet of the Republic of Uzbekistan // *Non-Ferrous Metals*. 2018. Vol. 44, Is. 1. Pp. 7–11.

14. Рахимов Р.В. Анализ состояния и перспективы развития парка грузовых вагонов АО «Узбекистон темир йуллари» // *Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: науч. тр. Респ. науч.-техн. конф. с участием зарубежных ученых*. Ташкент, 2017. С. 91–94.

15. Rahimov R.V. Researches of the stressed – deformed state of the open wagon body model 12-9922, produced in Uzbekistan // *Transport Problems – 2014: Proc. of the VI International Scientific Conference*. Katowice, 2014. Pp. 614–621.

16. Рахимов Р.В. Расчет напряженного-деформированного состояния металлоконструкции кузова нового полувагона модели 12-9922 производства Республики Узбекистан // *Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: тр. Респ. науч.-техн. конф. с участием зарубежных ученых*. Ташкент, 2012. С. 18–23.

17. Рахимов Р.В., Заирова Д.Н. Исследование расчета эффективности действия тормоза полувагона // *Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: тр. Респ. науч.-техн. конф. с участием зарубежных ученых*. Ташкент, 2012. С. 100–102.

18. Бороненко Ю.П., Филиппова И.О. Использование высокопрочных сталей в вагоностроении // *Транспорт Российской Федерации*. 2015. № 3 (58). С. 16–19.

19. Бороненко Ю.П., Филиппова И.О. Выбор конструктивных решений элементов вагонов с малой массой тары // *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2017. № 3 (69). С. 121–129.

20. Рахимов Р.В. Оценка напряженно-деформированного состояния элементов конструкции верхнего строения пути железных дорог Республики Узбекистан при эксплуатации подвижного состава с повышенными осевыми нагрузками // *Бюллетень результатов научных исследований*. 2019. Вып. 3. С. 67–88.

21. Рахимов Р.В. Расчетное определение показателей воздействия подвижного состава с повышенными осевыми нагрузками на путь в условиях железных дорог Республики Узбекистан // *Вестник транспорта Поволжья*. 2019. № 5 (77). С. 23–33.

22. Рахимов Р.В. Развитие тяжеловесного движения и оценка воздействия подвижного состава с повышенными осевыми нагрузками на верхнее строение пути железных дорог Республики Узбекистан // *Транспорт: проблемы, идеи, перспективы: сб. тр. LXXIX Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых*. СПб., 2019. С. 54–56.

23. Rahimov R.V., Ruzmetov Ya.O. Assessment of the impact of the rolling stock with increased axial loads on a way and setting the conditions of their circulation on the railways of the Republic of Uzbekistan // Railway transport: topical issues and innovations. 2019. Vol. 1-2. Pp. 5–13.

24. Рахимов Р.В. О возможности курсирования грузовых вагонов с повышенными осевыми нагрузками по железнодорожной инфраструктуре Республики Узбекистан // Наука и образование транспорту. 2020. № 1. С. 79–81.

25. О мерах по реализации инвестиционного проекта «Развитие ремонтной базы подвижного состава, организация вагоностроения и реконструкция литейного производства на ДП «Quyuv-mexanika zavodi» [Электронный ресурс]: Постановление Президента Республики Узбекистана от 28 июня 2012 г. № ПП-1780. URL: <https://buxgalter.uz/> (дата обращения: 17.01.2021).

26. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М., 1996. 317 с.

УДК 628.543

## **АНАЛИЗ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ БЕНТОНитОВОЙ ГЛИНЫ**

Б.Т. Гафуров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[gafurov-bulat@mail.ru](mailto:gafurov-bulat@mail.ru)

Науч. рук. А.В. Танеева

На сегодняшний день определенный интерес представляет поиск оптимальных по селективности сорбентов с определенными характеристиками. Учеными ведется поиск таких природных сорбентов, которые отличаются большой сорбционной емкостью, эффективностью очистки от загрязняющих воду веществ и имели бы низкую стоимость. В данной работе были рассмотрены сорбционные характеристики бентонитовых глин месторождения Вайоминг. Впервые были проведены экспериментальные исследования сорбционных характеристик бентонитовой глины по отношению к различным растворителям. Показано, что данная бентонитовая глина обладает оптимальными сорбционными свойствами и может быть использована в практической деятельности.

**Ключевые слова:** сорбция, сорбенты, бентонитовые глины, растворители.



Как известно, проблема поиска оптимальных по селективности сорбентов на сегодняшний день является актуальной. Так, например, в большинстве случаев в водоочистке применяются угольные или синтетические сорбенты. Однако они обладают некоторыми недостатками. Данные сорбенты либо одноразового применения, либо они достаточно тяжело утилизируются, что считается экономически неоправданно, также такие сорбенты часто являются токсичными [1]. Следовательно наиболее перспективным считается применение в водоочистке природных сорбентов.

В настоящей работе в качестве природных сорбентов были рассмотрены бентониты, в особенности бентонитовая глина (Вайоминг, США). Научная новизна заключается в том, что нами впервые были определены сорбционные характеристики бентонитовой глины (США) по отношению к применяемым растворителям, а также впервые проведен сравнительный анализ полученных сорбционных свойств данного бентонита, в чем и заключается практическая значимость данного исследования.

Поскольку бентонитовые глины месторождения Вайоминг используются на практике в качестве буровых растворов, было интересно исследовать сорбционные свойства этой глины с целью их применения в других областях науки. Вайомингский бентонит относится к натриевым бентонитам. Показано, что натриевые бентониты обладают более высокой набухаемостью по сравнению с кальциевыми, дают густую суспензию [2].

Нами была определена сорбционная способность бентонита по отношению к различным растворителям.

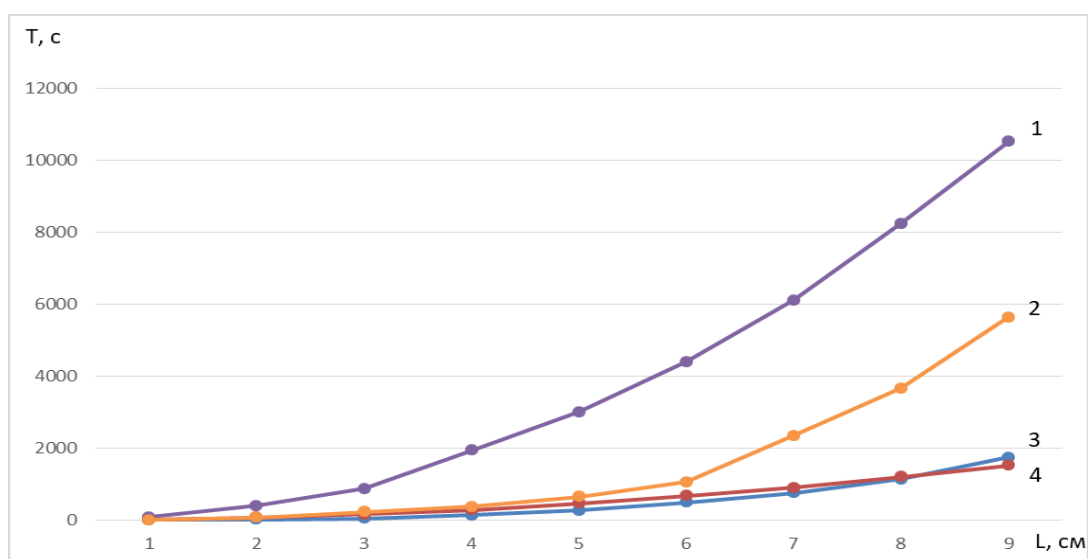
В таблице приведены результаты анализа сорбционных свойств бентонитовой глины по отношению к различным растворителям.

По полученным экспериментальным данным составили обобщенный график зависимости скорости реакции натриевого бентонита на растворители (см. рисунок).

Из рисунка видно, что сорбционные свойства бентонитовой глины различаются в зависимости от вида растворителя. Так, например, время сорбции метилэтилкетона достаточно высокое и составляет 10 513 с. Самое короткое время сорбции показывает растворитель гексан – 1 527 с. Это можно объяснить тем, что гексан является неполярным растворителем, т. е. растворителем, насыщенным углеводородом. Следует заметить, что уайт-спирит также является неполярным растворителем, и его показания близки к полученным данным растворителя гексана.

**Сорбционные характеристики (время удерживания  $T$ , с)  
бентонитовой глины по отношению к различным растворителям**

Растворитель	Длина сорбционного слоя $L$ , см								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Уайт-спирит	10	21	55	143	274	502	764	1 141	1 747
Гексан	30	80	167	290	470	683	912	1 215	1 527
Метилэтилкетон	98	408	881	1 945	3 015	4 403	6 111	8 240	10 513
Дихлорэтан	16	82	237	377	653	1 066	2 357	3 673	5 636



Зависимость времени удерживания от длины сорбционного слоя:

1 – растворитель метилэтилкетон; 2 – растворитель дихлорэтан;  
3 – растворитель уайт-спирит; 4 – растворитель гексан

Из анализа полученных экспериментальных значений можно сделать вывод об оптимальных сорбционных характеристиках данной бентонитовой глины и перспективном ее использовании на практике при очистке сточных вод.

### Источники

1. Ajala O.J., Nwosu F.O., Ahmed R.K. Adsorption of atrazine from aqueous solution using unmodified and modified bentonite clays // Applied Water Science. 2018. Vol. 7. Pp. 213–224.

2. К вопросу о сорбционной очистке воды монтмориллонит содержащей глиной / О.Н. Каньгина [и др.] // Вестник Оренбургского государственного университета. 2014. № 9 (170). С. 160–165.

## СОЗДАНИЕ ПРИКЛАДНОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА СИЛОВОЙ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ

Л.И. Гимадиева<sup>1</sup>, И.М. Мотыгуллина<sup>2</sup>, Р.Р. Тактамышева<sup>3</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>l-e-y-s-a-n-99@mail.ru, <sup>2</sup>motigullina1999@mail.ru, <sup>3</sup>ruschanija2002@mail.ru

Разработана программа на языке C++, которая позволяет рассчитать активную и реактивную нагрузки, расчетную полную мощность и расчетный ток приемника.

**Ключевые слова:** расчет силовой нагрузки электроприемника, прикладная программа, язык C++.

Вычисления расчетной нагрузки при известном составе приемников с постоянным или мало меняющимся графиком нагрузки с коэффициентом максимума нагрузки  $k_{\max} = 1$  (вентиляторы, компрессоры, насосы, электрические печи и т. д.) необходимо начинать с определения активной ( $P_{\text{расч}}$ , кВт) и реактивной ( $Q_{\text{расч}}$ , кВАр) нагрузок, расчетной полной мощности ( $S_{\text{расч}}$ , кВА) и расчетного тока ( $I_{\text{расч}}$ , А).

С целью упростить и ускорить процесс вычисления, а также избежать так называемого «человеческого фактора», есть возможность использовать специализированные программы («Электрик», «Cable») позволяющие произвести необходимые расчеты в соответствии с нормативным техническим документом ПУЭ. Рассмотрим их подробнее.

Возможности многофункциональной программы «Электрик» широки. В частности, в данной программе можно произвести не только расчет мощности электроприбора по известному значению одно- или трехфазного тока, но и определить номинальные ток и мощность по заданному сечению проводника с учетом способа прокладки, произвести расчет токов короткого замыкания и вычислить значение потерь напряжения в сети; по заданным параметрам определить требуемое сечение провода, кабеля (специального кабеля), рассчитать заземляющий контур и др.

В программе «Cable» также возможно рассчитать ток и мощность, выбрать соответствующие автоматы защиты и УЗО.

Целью нашей работы является написание минимальной прикладной программы на языке C++, которая позволит рассчитать активную ( $P_{\text{расч}}$ , кВт) и реактивную ( $Q_{\text{расч}}$ , кВАр) нагрузки, расчетную полную мощность ( $S_{\text{расч}}$ , кВА) и расчетный ток ( $I_{\text{расч}}$ , А) приемника.

Для начала работы создается файл с расширением \*.cpp [2].

В первой строке указывается директив `#include <iostream>`, который подключает библиотеку потоков ввода-вывода, и делает доступным поток вывода (оператор) `std::cout` (позволяет выводить сообщение на экран) и манипулятор `std::endl` (переносит вывод на новую строку и завершает операцию вывода `cout`).

Для того, чтобы успешно вывести строку, необходимо ее взять в кавычки ("").

Различные операторы отделяются друг от друга с помощью символов `<<` (`cout<< ... << endl;`).

Указанный во второй строке `#include <math.h>` заголовочный файл, разработанный для выполнения простых математических операций.

На следующей строке указывается стандартная функция `main` (`int main()`). Она автоматически запускается вместе с программой.

Весь код, помещается между двумя фигурными скобками {...} после `int main()`.

В следующих строках прописываются выражения (формулы), позволяющие рассчитать интересные параметры [1].

В частности, реактивная мощность, определяемая по формуле:

$$P_p = k_{\text{исп}} \cdot P_{\text{ном}},$$

где  $k_{\text{исп}}$  – коэффициент использования оборудования;  $P_{\text{ном}}$  – установленная мощность приемника, кВт.

В программе будет прописана следующим образом:

```
auto P_rasch = K_isp * P_nom
```

Аналогично будут прописаны и другие параметры [1]:

– реактивная мощность, определяемая по формуле:

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg}\varphi, \quad (2)$$

где  $\text{tg}\varphi$  – коэффициент реактивной мощности.

```
auto Q_rasch = P_rasch * (std::sqrt(1 - cos_f * cos_f) / cos_f);
```

– полная мощность, определяемая по формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (3)$$

```
auto S_rasch = std::sqrt(P_rasch * P_rasch + Q_rasch * Q_rasch);
```

– расчетный ток, определяемый по формуле:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (4)$$

где  $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение сети (0,38 кВ):

```
auto I_rasch = S_rasch / (std::sqrt(3) * U_nom);
```

На следующей строке записывается оператор return, а после него указывается код ошибки (Return 0). Код 0 означает, что программа отработала корректно, то есть без каких-либо ошибок. При возникновении ошибки программа будет возвращать другие значения, отличные от нуля [2].

Таким образом, программа для вычисления силовой нагрузки электроприемника будет иметь следующий вид:

```
1 #include <iostream>
2 #include <math.h>
3
4 int main() {
5     auto K_isp = 0.0;
6     auto P_nom = 0.0;
7     auto cos_f = 0.0;
8     const auto U_nom = 0.38;
9     std::cout << "Введите K(isp): ";
10    std::cin >> K_isp;
11    std::cout << "Введите P(nom): ";
12    std::cin >> P_nom;
13    std::cout << "Введите Cos(f): ";
14    std::cin >> cos_f;
15    auto P_rasch = K_isp * P_nom;
16    auto Q_rasch = P_rasch * (std::sqrt(1 - cos_f * cos_f) / cos_f);
17    auto S_rasch = std::sqrt(P_rasch * P_rasch + Q_rasch * Q_rasch);
18    auto I_rasch = S_rasch / (std::sqrt(3) * U_nom);
19
20    std::cout << "Активная нагрузка (кВт): " << P_rasch << std::endl
21    | | | << "Реактивная нагрузка (кВАр): " << Q_rasch << std
22    | | | << "Полная мощность (кВА): " << S_rasch << std::endl
23    | | | << "Расчетный ток (А): " << I_rasch << std::endl;
24    return 0;
25 }
```

Проверим программу на определенном примере. В качестве приемника используем компрессор со следующими характеристиками:

$$P_{\text{ном}} = 5,5 \text{ кВт}; k_{\text{исп}} = 0,65; \cos \varphi = 0,8; U_{\text{ном}} = 0,38 \text{ кВ}.$$

Вводим параметры в систему:

```
Введите K(isp): 0.65
Введите P(nom): 5.5
Введите Cos(f): 0.8
```

В результате которых получаем следующее:

```
Активная нагрузка (кВт): 3.575
Реактивная нагрузка (кВАр): 2.68125
Полная мощность (кВА): 4.46875
Расчетный ток (А): 6.78956
```

Таким образом, написанная авторами прикладная программа на языке C++ является рабочей, а результаты, полученные с ее помощью, – достоверными.

Подводя итоги, можно утверждать, что использование специализированных программ позволяют упростить и ускорить решение многих задач.

### Источники

1. Радкевич В.Н. Проектирование систем электроснабжения: учеб пособие. Мн.: НПООО «ПИОН», 2001. 292 с.
2. Прата Стивен. Язык программирования С. Лекции и упражнения, 6-е изд. СПб.: ООО «Диалектика», 2019. С. 50–55.

УДК 697

## БАЛАНСИРОВКА СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

Р.Р. Кайбышева  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
kalipco199@gmail.com  
Науч. рук. Д.В. Рыжков

Приведены различные методы и способы балансировки систем отопления в зданиях.

**Ключевые слова:** балансировка, арматура, автоматическая настройка, моделирование.

Разработка систем отопления зданий должна всегда заканчиваться настройкой оборудования, которое включает в себя радиаторные батареи, котлы, насосное оборудование, коллекторы. Совокупность регулировок в общем называется балансировкой.

Целью балансировки является распределение теплоты по зданию в тех количествах, которое нужно людям для комфортной деятельности и жизни.

Устройство каждой гидросистемы основано на взаимосвязи обратно пропорциональных значений рабочей среды - расхода и давления. Уровень давления в трубопроводе создают насосы, а за расход рабочей среды отвечает регулирующая арматура [1].

Суть регулировки – это изменение гидродинамического сопротивления в трубах: на удаленных от теплового узла отопительных приборах его нужно повысить, а на ближних-понизить. В расчетах скорость циркуляции жидкости снижается из-за различных трубных ответвлений [2].

Нужно сбалансировать систему так, чтобы в зависимости от назначения помещений в каждом отдельном контуре скорость теплоносителя достигла определенных значений. То есть, в них должна поддерживаться заданная температура.

Удобнее и легче всего проводить балансировку в однетрубных системах, потому что во всех радиаторах суммарное значение силы напора всегда неизменно. На стояке уравнивается тепло, выделяемое радиаторами. Это уравнивание выполняют клапаны. Здесь необходимо, чтобы автоматически повышался расход горячей воды к удаленным радиаторам, и теплоноситель не успевал остывать.

В параллельных двухтрубных системах балансировка не нужна. Но минус этих систем только в материалоемкости. В них теплоноситель проходит через каждый радиатор равные отрезки пути, и скорость жидкости выравнивается сама по себе.

Балансировка, выполняемая при помощи построения модели, является более точной. Это самый удобный способ балансировки. Моделирование производится в компьютерных программах, таких как Valtec PRG или Danfoss CO. С помощью 3D-моделирования можно получить наиболее полное представление о работе системы, о том, какие процессы происходят в трубопроводах.

В программе все расчеты сконцентрированы на обеспечение равномерности расхода теплоносителя к каждому отопительному прибору, а также на температуру этого теплоносителя при возвращении его к источнику нагрева, от которой зависит время на его повторный нагрев. Чем это время будет короче, тем экономнее будет работать система в целом. Этим методом балансировку можно выполнить максимально точно, тем самым повысив эффективность обогрева здания.

На практике же в основном пользуются специальными инструментами для максимально точной балансировки. Для настройки применяется насосное оборудование, с которого идет передача данных на компьютер или мобильный телефон. Оно работает как помощник настройщика по всем элементам.

Все данные, введенные в приложении, сохраняются и есть возможность изменять их значения, чтобы увидеть другие возможные варианты настроек отопительной системы.

Автоматическая балансировка может производиться только в реальном времени в отличие от компьютерного моделирования. В приложении после завершения балансировки автоматически формируется отчет по всем отдельным приборам и по системе отопления [3].

В заключение напомним, что балансировка – это важнейший пункт обустройства системы отопления независимо от размера здания. Точная настройка системы сможет обеспечить:

- равномерность нагрева батарей;
- стабильность работы насосов;
- экономию энергоносителей;
- нормальный режим работы котлов и котельных;
- комфорт и безопасность.

Чтобы правильно провести балансировку необходимо обладать соответствующими знаниями в технических характеристиках оборудования и понимать физические процессы, происходящие при эксплуатации гидравлических систем, так как без нужных компетенций система может выйти из строя.

### **Источники**

1. СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. М.: Минрегион России, 2016. 95 с.
2. Артамонова Д.Г., Бахтина И.А., Гейко Н.В. Современные тенденции при регулировании и балансировке систем отопления // Ползуновский альманах. 2020. № 1. С. 101–107.
3. Семенцова А.М. Проблемы в системах отопления // Молодой ученый. 2019. № 5. С. 26–27.



## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УТЕПЛЕНИЯ ФАСАДОВ ЗДАНИЙ

Д.Р. Каримов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
karimzhaan@mail.ru  
Науч. рук. Д.В. Рыжков

Описаны различные материалы для утепления фасадов зданий и их сравнение.

**Ключевые слова:** утеплитель, теплоизоляция, тепловые потери, минеральная вата, пенополистирол.

На протяжении нескольких десятилетий человечество пытается найти способы снижения энергопотребления, большая часть которого приходится на отопление зданий. Если предельно уменьшить теплопотери, возможно наблюдать экономический эффект.

В настоящее время имеется огромное разнообразие материалов, которые предназначены для наружного утепления фасадов зданий. Помимо механических и физических свойств материалы для утепления имеют особенность, связанную с качеством монтажа, если произвести монтаж утеплителя среднего качества правильно, то он прослужит много лет, и наоборот, если неправильно выполнять монтаж, то даже лучшая продукция может оказаться недолговечной. Поэтому, прежде чем покупать утеплитель и приступать к его монтажу, необходимо разобраться во всех тонкостях данного материала и работы с ним [1].

Цель утепления фасада здания – снизить теплопотери, повысить энергоэффективность строения, уменьшить уровень уличного шума.

Существует множество материалов, для утепления фасадов здания: минеральная вата, стекловолокно; пенополистирол; жидкие и напыляемые утеплители; термопанели для утепления фасадов.

Рассмотрим и сравним два вида материалов, это минеральная вата и пенополистирол.

Минеральная вата изготавливается из силикатных расплавов горной и вулканической породы, а так же металлургических шлаков. Для утепления фасадов минеральной ватой берут, базальтовые (каменные) и стеклянные материалы. Минеральная вата выдерживает температуру больше 1 000 °С и не плавится при этом, отличается высокими теплоизоляционными свойствами и значительной сопротивляемостью механическим воздействиям. Срок службы минваты достигает 20 лет и более. Хорошо поглощает звук, сокращая шум на 20 % [2].

Пенополистирол состоит на 60 % из газа, заключенного в микроскопических тонкостенных ячейках из полистирола, что делает его легким и влагонепроницаемым. Пенополистирол имеет невысокую стоимость, что и влияет на стоимость утепления фасадов здания. Пенополистирол позволяет уменьшить теплопотери приблизительно на 75 %. Современный пенополистирол за счет добавления антипирен не поддерживает горение и активно сопротивляется этому процессу, но со временем свойство сходит на нет и он начинает поддаваться горению [3].

Есть несколько критериев, по которым мы можем провести сравнение [4]:

- паропроницаемость: у минеральной ваты показатель паропроницаемости почти в 10 раз больше, чем у пенополистирола;

- огнестойкость: минеральная вата абсолютно не горит, так как способна противостоять температуре окружающей среды до 1 000 °С, в отличие от пенополистирола;

- стоимость: по этому параметру оба утеплителя примерно равны. Все зависит от бренда и плотности утеплителя;

- монтаж: пенополистирол более прочен и упруг, легко поддается резке и шлифовке, но на месте стыка возможно появление мостиков холода. Минвата способна быть плотной и упругой, и на её стыках почти не возможно появление мостиков холода;

- сопротивление теплопередачи: производители указывают практически одинаковые значения коэффициентов теплопроводности минваты и пенополистирола;

- экологичность: при изготовлении пенополистирола применяли фреон, который выделял вредные газы, но так как сейчас предъявляются более строгие требования к изготовлению, производители перестали его использовать;

- срок службы: минвата изготавливается из вулканических пород, поэтому ей не страшны различные агрессивные среды, что в свою очередь отражается и на долговечности данного материала.

В заключение напомним, что главной целью утепление фасада здания, это снизить теплопотери, уменьшить уровень уличного шума. Так же важно правильно подобрать материал и способ утепления.

Сравнив два материала, мы увидели, что минеральная вата по многим критериям, таким как экологичность, огнестойкость, срок службы, выгоднее и лучше, хотя пенополистирол очень хорошо проявил себя в монтаже. Лучше всего его использовать в тех местах, где влажность воздуха достаточно высока, но требуется произвести утепление.

Одним из главных факторов выбора материала так же является и местоположения здания, его назначение и климат окружающей среды.

## Источники

1. Теплоизоляционные материалы, обеспечивающие энергоэффективность фасадных систем / С.Г. Абрамян [и др.] // Инженерный вестник Дона. 2018. № 4 (51).
2. ГОСТ 4640-2011. Вата минеральная. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2019. 10 с.
3. Бек-Булатов А.И. Пенополистирол – история создания и долговечность // Строительные материалы. 2010. № 3. С. 92–93.
4. Ярцев В.П., Мамонтов А.А., Мамонтов С.А. Эксплуатационные свойства и долговечность теплоизоляционных материалов (минеральной ваты и пенополистирола) // Кровельные и изоляционные материалы. 2013. № 1. С. 8–11.

УДК 620.92

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Ю.Н. Климова  
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов  
julia.klimova68@yandex.ru  
Науч. рук. И.В. Рогов

Рассмотрены преимущества и недостатки различных видов тепловых насосов, а также актуальность и перспективность их использования в Тамбовской области.

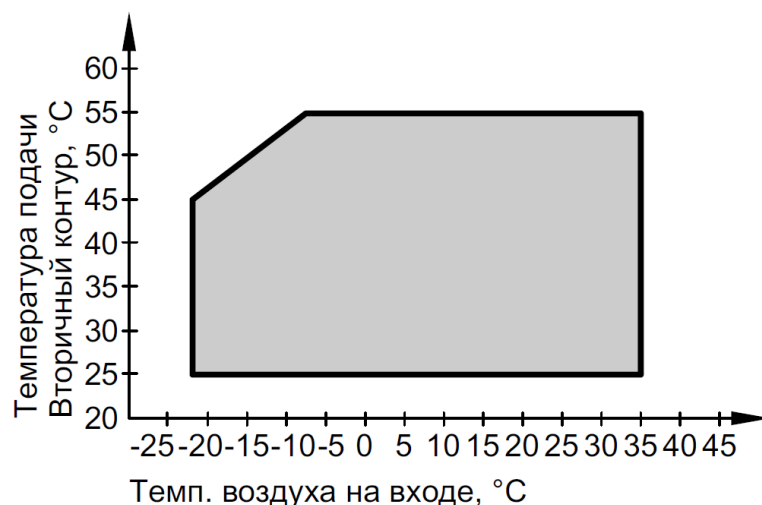
**Ключевые слова:** возобновляемые источники, тепловые насосы, энергосбережение.

Для России тепловые насосы – новшество, способное в обозримом будущем существенно изменить картину энерго- и ресурсопотребления, уменьшить затраты потребителя на топливо и, как следствие, уменьшить негативное влияние тепловых выбросов на глобальном уровне. Но, как и все новое, процесс внедрения тепловых насосов (ТН) сталкивается с большим количеством проблем. Одна из них – отсутствие полного понимания о подборе оборудования для различных климатических условий эксплуатации. Это особенно существенно для России, где климатические условия резко отличаются в зависимости от района эксплуатации ТН.

Существуют три основных источника тепла, которые потенциально можно использовать: воздух, грунт и вода. Использование тех или иных источников имеет свои преимущества и недостатки, и последнее, в зависимости от условий (климатических, финансовых и т. п.), может нивелироваться грамотным расчетом и подбором ТН.

Воздушный тепловой насос является универсальным вариантом, так как воздух – самый доступный источник тепла. ТН типа воздух-вода представляют собой небольшой блок, уместяющийся в условной компактной коробке. Основной недостаток такого ТН – его зависимость от температуры воздуха, которая, в течении года, может колебаться в больших интервалах. При максимальных зимних нагрузках (в умеренной и более холодных широтах) работа оборудования будет малоэффективной (такие ТН работают до наружной температуры  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в редких случаях до  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) [1]. Также, тепловой насос типа воздух-вода, создает шум за счет работы вентилятора. Поэтому выносной (наружный) блок нельзя ставить около помещений с частым пребыванием людей (спальни и пр.).

На рисунке приведен график границ рабочего диапазона работы ТН фирмы Viessmann [2].



Температурные границы рабочего диапазона ТН

Из графика видно, что температурный диапазон работы тепловых насосов приемлем для климатических условий Тамбовской области (температура холодной пятидневки составляет  $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ , средняя температура наиболее холодного месяца  $-8,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  [3]), однако, для максимальных зимних нагрузок понадобится включение дополнительного источника тепла. Тем не менее, большую часть времени потребители тепла смогут пользоваться ТН и экономить на газе и электричестве.

Грунтовый тепловой насос, в сравнении с воздушным, куда менее зависим от изменений в окружающей среде, что делает его более стабильным источником энергии. Однако стоит учитывать, что для установки грунтового ТН требуется либо большая площадь земельного участка (для горизонтальных грунтовых коллекторов), либо большие капитальные затраты для бурения грунтов (для вертикальных грунтовых коллекторов). Более эффективным вариантом грунтового ТН считают вертикальный. Связано это с тем, что под контактирующей поверхностью с воздухом температура земли повышается, и уже на глубине 18 м перестает зависеть от времени года, и стремится к 10 °С. Стабильный съём тепла – серьезное достоинство рассольно-водяного ТН, однако требования к занимаемой коллектором площади сильно сужают возможности использования грунтовых ТН. В таблице представлены значения теплоотдачи ( $q$ ) грунтовых коллекторов в зависимости от вида почвы [4].

#### Значения теплоотдачи грунтов в зависимости от типа коллектора

Горизонтальный коллектор		Вертикальный коллектор	
Тип грунта	$q$ , Вт/м <sup>2</sup>	Тип грунта	$q$ , Вт/м
Сухая, песчаная почва	10-15	Гравий/песок, сухой	< 20
Влажная, песчаная почва	15...20	Гравий/песок, влажный	55...65
Сухая, глинистая почва	20...25	Песчаник	55...65
Влажная, глинистая почва	25...30	Суглинок, глина влажные	30...40
Насыщенная грун. водами	30...35	Кислые магматиты (гранит и пр.)	55...70

Тамбовская область лежит в полосе выщелочных (северная часть) и типичных чернозёмов (южная часть). Первый от поверхности водоносный горизонт залегает на глубине от 0 до 40 м [5]. Согласно таблице, горизонтальный коллектор позволит снимать 25–30 Вт/м<sup>2</sup>, а вертикальный – 30–40 Вт/м в регионе, что является довольно высоким значением теплоотдачи.

При наличии возможности уложить грунтовый коллектор, можно извлечь серьезную выгоду. Вдобавок, все чаще появляются исследования и патенты, способствующие решению проблемы с пространством для коллекторов [6, 7].

Использование грунтовых вод считается самым эффективным, так как их температура практически неизменна (даже в сравнении с грунтом) и относительно высока (от 4 до 12 °С даже зимой) [8]. В среднем необходимо порядка 250 л/ч на мощность 1 кВт теплового насоса. Необходимо быть уверенным в дебете скважины на протяжении срока

эксплуатации ТН. Химический состав используемых вод должен удовлетворять определенным требованиям (электропроводимость, содержание кислорода, содержание железа, примесей, солей жесткости и т.п.). В зависимости от состава грунтовых вод в разной степени компоненты системы подвергаются преждевременному износу (теплообменники, арматура, трубы). Локальные загрязнения в теплообменнике, например, способствуют снижению скорости воды за счет сужения проходного диаметра. Это влечет за собой замораживание воды за счет охладителя (в данном случае – хладагента). Как следствие – разгерметизация теплообменника и выход из строя всей установки. В связи с этим, требуется предварительный химический анализ используемой воды. Также стоит учесть, что использование такого ресурса, как грунтовые воды, требует согласования с местным уполномоченным органом.

Грунтовые воды Тамбовской области считаются насыщенными вредными для теплового оборудования веществами. Также, различный уровень и расход грунтовых вод не позволяют выявить общее техническое решение для региона в целом, и потому применение данного типа ТН – скорее исключение, в ближайшем будущем, нежели закономерность.

Таким образом, использование тепловых насосов в системах отопления – перспективное направление даже для стран, где преобладают холодные и длительные зимние периоды, в частности, в Тамбовской области. Их эффективность напрямую зависит от ряда факторов, которые не всегда определяются климатом. Поэтому при выборе источника теплоснабжения важно обращать внимание на ряд перечисленных в статье факторов, чтобы система работала эффективно, долго и надежно.

### **Источники**

1. «Руководство по проектированию тепловых насосов» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.viessmann.ru/ru/zilye-zdania/teplovye-nasosy/rassolnovodanye-teplovye-nasosy.html> (дата обращения: 17.02.2021).

2. Воздушно-водяные тепловые насосы, исполнение в виде сплит-системы от 4,5 до 15,7 кВт. Инструкция по проектированию. М.: Viessmann, 2017. 144 с.

3. СП 131.13330.2018. Строительная климатология СНиП 23-01-99. М: Стандартинформ, 2019. 110 с.

4. Тепловые насосы Nibe: проектная документация [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nibe-rus.ru/assortiment-produktsii/poisk-dokumentov/dokumenty-na-russkom> (дата обращения: 17.02.2021).

5. «Схема территориального планирования Тамбовской области» [Электронный ресурс]. URL: <http://tambrn.ru/26/783/49.html> (дата обращения: 17.02.2021).

6. System for supplying heat to buildings has collectors laid in trench in several layers with intermediate layers of sand, lowest collectors on sand and topmost collectors covered by sand: пат. DE10209373A1 Германия № 10209373; заявл. 02.03.2002; опубл. 18.09.2003.

7. Groundwater enhanced geothermal heat pump: пат. WO2020117946A1 USA № 2020117946; заявл. 04.12.2019; опубл. 11.06.2020.

8. Рей Д., Макмайкл Д. Тепловые насосы. М.: Энергоиздат, 1982. 224 с.

УДК 620.9

## ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ СИСТЕМЫ С УТИЛИЗАТОРОМ ТЕПЛОТЫ

О.Д. Колева<sup>1</sup>, Р.Р. Тактамышева<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>koleva\_98@mail.ru, <sup>2</sup>ruschanija2002@mail.ru

Авторами проанализированы достоинства и недостатки приточно-вытяжной системы с утилизатором теплоты.

**Ключевые слова:** приточно-вытяжная система, утилизатор теплоты, рекуперативные теплоутилизаторы.

Приточно-вытяжная вентиляция – это система, которая обеспечивает одновременные приток в помещение чистого и свежего воздуха и отведение отработанного воздуха из помещения на улицу [1].

Система приточно-вытяжной вентиляции состоит из следующих элементов [2]:

– воздушный клапан – препятствует попаданию наружного воздуха в помещения, когда система выключена;

– воздухозаборная решетка – через нее воздух поступает в систему; она защищает установку от попадания посторонних предметов, а также несет декоративную функцию;

– фильтр – защита установки, а также фильтрация воздуха;

– калорифер (воздухонагреватель) – подогрев приточного воздуха зимой;

- теплоутилизатор – теплообменник, который позволяет использовать тепло удаляемого из помещения воздуха для нагрева приточного;
- вентилятор – подача воздуха в помещение и поддержание необходимого давления в воздуховодах;
- воздуховоды – распределяют воздух по помещениям;
- воздухораспределители – через них подготовленный воздух после воздуховодов попадает непосредственно в помещение;
- шумопоглотитель – снижает уровень шума от установки;
- тепло- и звукоизолирующие панели – тоже снижают уровень шума и повышают КПД;
- система автоматики и регулировки – позволяет осуществлять гибкое эффективное управление системой.

Преимуществами приточно-вытяжной вентиляции являются постоянный забор отработанного воздуха из помещения; очищение и, при необходимости, повышение температуры подаваемого воздуха, используя тепло вытягиваемого воздуха; увлажнение воздуха в заданных пределах и, как следствие, решение проблемы отвода конденсата; экономия электроэнергии; снижение расходов предприятия на отопление и кондиционирование; уменьшение нагрузки на окружающую среду благодаря снижению энергопотребления; удобное управление [3].

К недостаткам приточно-вытяжной системы относят шум от вентиляторов; отсутствие охлаждения воздушных масс, необходимое в летнее время; высокую стоимость.

Как было указано выше, использовать тепло удаляемого из помещения воздуха для нагрева приточного позволяет теплообменник-теплоутилизатор.

В соответствии со стандартами, утилизаторы тепла делятся на 4 категории:

а) регенеративные теплоутилизаторы, в которых тепло воздуха передается промежуточному аккумулятору, а затем этот накопитель отдает тепло приточному потоку;

б) регенеративные теплоутилизаторы с промежуточным теплоносителем, в которых теплоноситель контактирует с воздухом через разделяющую поверхность, а перенос тепла осуществляется газообразным или жидкостным теплоносителем;

в) тепловые насосы;

г) рекуперативные теплоутилизаторы, в котором теплота от одного теплоносителя к другому передается через разделительную стенку. Утилизация теплоты в рекуперативных теплоутилизаторах достигается



в результате теплообмена между движущимися потоками (чистым, свежим – с улицы и влажным спертым – из помещения). Оба потока воздуха циркулируют в системе одновременно, но при этом они нигде не смешиваются. Они подходят максимально близко друг к другу только в самой установке, где горячий отработанный воздух, выходя из дома, отдает 90 % своего тепла входящему потоку [1].

В качестве рекуперативных теплоутилизаторов можно использовать калориферы общего назначения или специально выпускаемые теплообменные аппараты, если применяемые жидкости и вытяжной воздух не оказывают на них агрессивного воздействия.

Подводя итоги, можно утверждать, что применение рекуперативного теплообменника снижает денежные расходы на нагрев приточного воздуха и, таким образом, повышает эффективность системы.

### **Источники**

1. Приточно-вытяжная вентиляция [Электронный ресурс]. URL: <http://www.airfresh.ru/pritочно-vytyazhnye-ustanovki.htm> (дата обращения: 09.02.2021).

2. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99. М., 2012. 109 с.

3. Черчаев А.А. Анализ эффективности использования теплообменников-утилизаторов теплоты вытяжного воздуха // Шаг в науку. 2018. № 3. С. 99–102.

УДК 66.021.3/4

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССООБМЕНА В МИНИ-ГРАДИРНЕ**

Е.А. Лаптева<sup>1</sup>, Е.Ю. Столярова<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>grivka@mail.ru, <sup>2</sup>esenin44\_44@mail.ru

Приведена схема лабораторного макета мини-градирни, а также результаты эксперимента, проведенного на влажной колонне с регулярной насадкой при разных скоростях газа и жидкости. Подтверждена зависимость тепловой эффективности от скорости газа в колонне.

**Ключевые слова:** мини-градирня, тепловая эффективность, насадка, интенсификация.

Градирни применяются в системах оборотного водоснабжения предприятий, когда необходимо устойчивое охлаждение воды при высоких удельных и тепловых нагрузках. На производствах, где требуется стабильное охлаждение воды, расход охлаждающей жидкости невелик и площади ограничены, достойной альтернативой башенным и вентиляторным градирням выступают мини-градирни с насадками [1,2]. Схема лабораторного макета мини-градирни приведена на рис. 1.

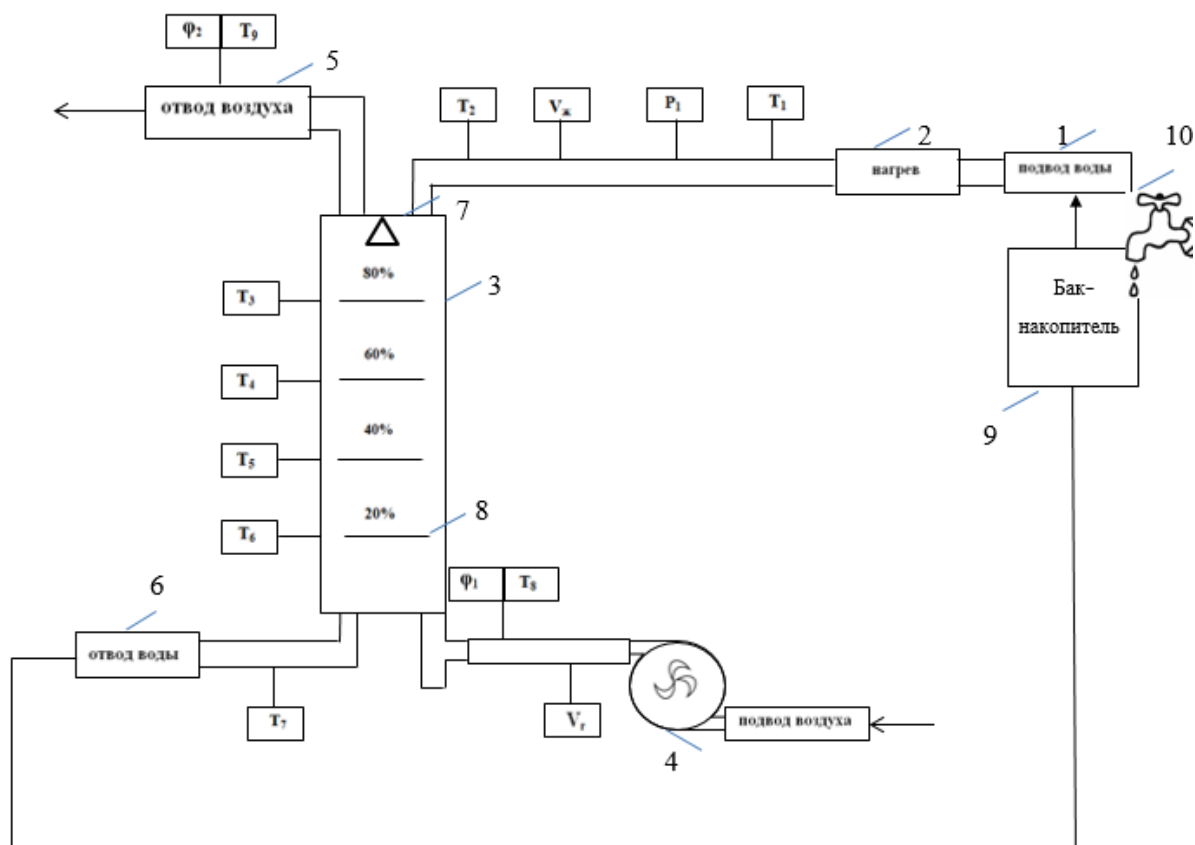


Рис. 1. Схема макета лабораторной установки «мини-градирня»

Лабораторная установка мини-градирня представляет собой аппарат для охлаждения воды, заполненный регулярными насадками. Исходная вода (жидкость), которую необходимо охладить из бака-накопителя 9 подается через подводящий коллектор 1 на подогреватель исходной воды 2. Подогретая до  $37,9...38,2$  °С вода через распылительное устройство 7 поступает в мини-градирню (колонну) 3. Проходя через слой регулярных насадок, таким образом, происходит увеличение поверхности контакта фаз «жидкость-газ», в результате – интенсификация процесса теплообмена [3, 4]. Под регулярной насадкой установлена опорная решетка 8. Воздух (газ) нагнетается воздуходувкой 4 и поступает в колонну 3 в противотоке с жидкостью. Отвод воздуха осуществляется,

через патрубок 5 в атмосферу, во избежание увеличения влажности воздуха на входе в аппарат. Отвод газа – через патрубок 6. По жидкости система является замкнутой, поэтому охлажденная в колонне вода 3 возвращается в бак-накопитель 9. Потери жидкости восполняются посредством подпитки водой из водопровода 10. В качестве загрузки применяется регулярная насадка в виде гофрированных полимерных труб внешним диаметром 50 мм и высотой 1 000 мм. Схема загрузки приведена на рис. 2.

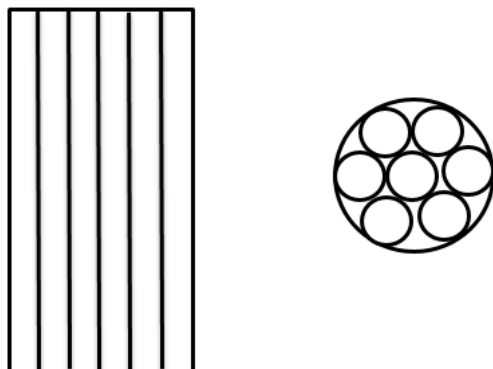


Рис. 2. Схема регулярной насадки для мини-градирни

Результаты эксперимента приведены на рис. 3.

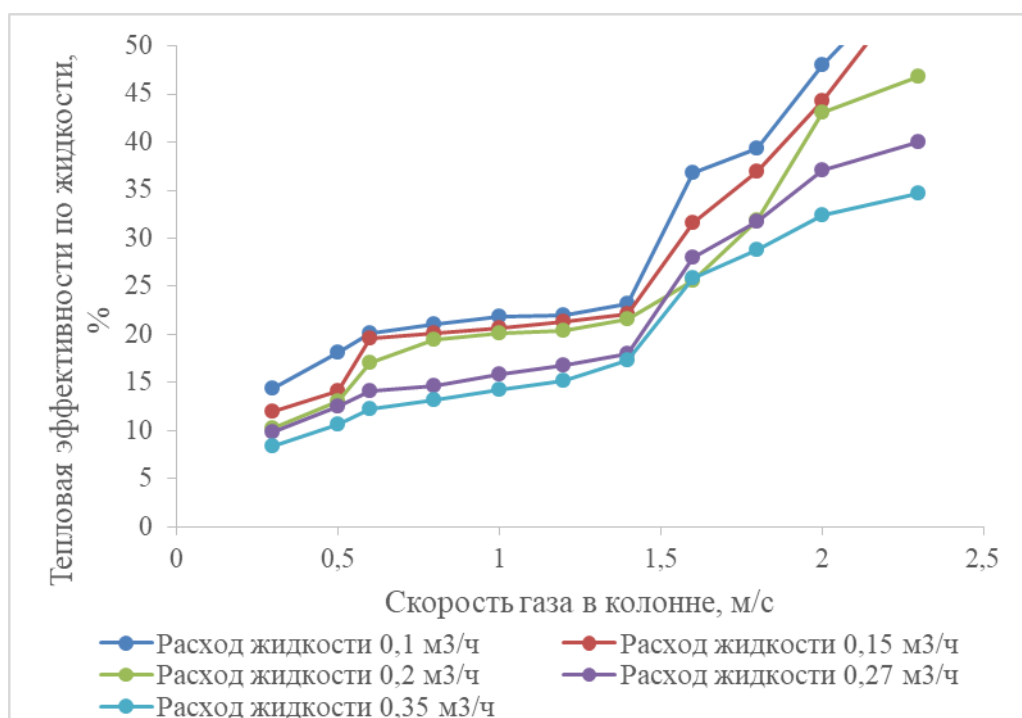


Рис. 3. Зависимость тепловой эффективности мини-градирни по жидкой фазе при разных скоростях газа и жидкости в колонне

Исследования показали, что с увеличением скорости газа в колонне тепловая эффективность мини-градирни растет, а с увеличением расхода жидкости – снижается.

Исследование выполнено в рамках научного проекта РФФ 18-79-101-36.

### **Источники**

1. Лаптев А.Г., Ведьгаева И.А. Устройство и расчет промышленных градирен: моногр. Казань: КГЭУ, 2004. 180 с.
2. Арефьев Ю.И., Пономаренко В.С. К вопросу эффективности брызгальных градирен // Водоснабжение и санитарная техника. 1992. № 2.
3. Берман Л.Д. Испарительное охлаждение циркуляционной воды. 2-е изд. М.: Госэнергоиздат, 1957. 320 с.
4. Лаптев А.Г., Фарахов М.И., Минеев Н.Г. Основы расчета и модернизация тепломассообменных установок в нефтехимии. СПб.: Страта, 2015. 576 с.

УДК 621.438

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОТУРБИННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В КАЧЕСТВЕ СОБСТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

Д.М. Латыпова<sup>1</sup>, Н.В. Загидуллина<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Филиал ООО «КЭР-Инжиниринг» «ТатНИПИэнергопром», г. Казань

<sup>1</sup>dinara-latypova-00@mail.ru, <sup>2</sup>zagidullinanv@ker-eng.com

Науч. рук. Т.Г. Горбунова

Приведены характеристики газотурбинной энергетической установки и ее пример внедрения на предприятии города Казани.

**Ключевые слова:** газотурбинная энергетическая установка, котел-утилизатор, комбинированная выработка энергии, энергоэффективность.

Проблема обеспечения электроэнергией и теплом потребителей, расположенных вдали от централизованных линий электропередач и центров генерации тепла, не теряет актуальности. Также становится всё более востребованным создание резервных источников энергии, в связи

с использованием сложных непрерывных технологических процессов и компьютерного оборудования, требующих бесперебойной подачи электричества [1].

Рассмотрим газотурбинную энергетическую установку «Волга», установленную на предприятии г. Казань и ее основные параметры. Она предназначена для выработки электроэнергии, а с целью утилизации тепла уходящих газов установлен котел-утилизатор, осуществляющий подогрев теплоносителя котлового контура котельной АО «КМПО», где и происходит окончательный подогрев сетевой воды и поддержание температурного графика 110/70 °С котлового контура.

В отопительный период в работе находится ГТЭУ с котлом-утилизатором с загрузкой 100 %. В неотапительный период она работает по электрическому графику с возможным регулируемым отпуском тепла на ГВС за счет байпасирования дымовых газов установки помимо котла-утилизатора.

В связи с тем, что мощность ГТЭУ зависит от температуры наружного воздуха, а тепловая мощность котла-утилизатора – от тепловой нагрузки, электрическая мощность установки может меняться в зависимости от температуры наружного воздуха.

Присоединенная максимальная тепловая нагрузка котельной 60 МВт АО «КМПО»: – на отопление – 45 МВт; – вентиляция и технологический контур – 11 МВт; – на ГВС – 4 МВт. Теплоносителем является вода со следующими параметрами: – котловой контур – 110/70 °С; – внешний контур системы вентиляции + технологический контур 105/80 °С; – сетевой контур отопления – 90/70 °С, – система ГВС – 65/5 °С.

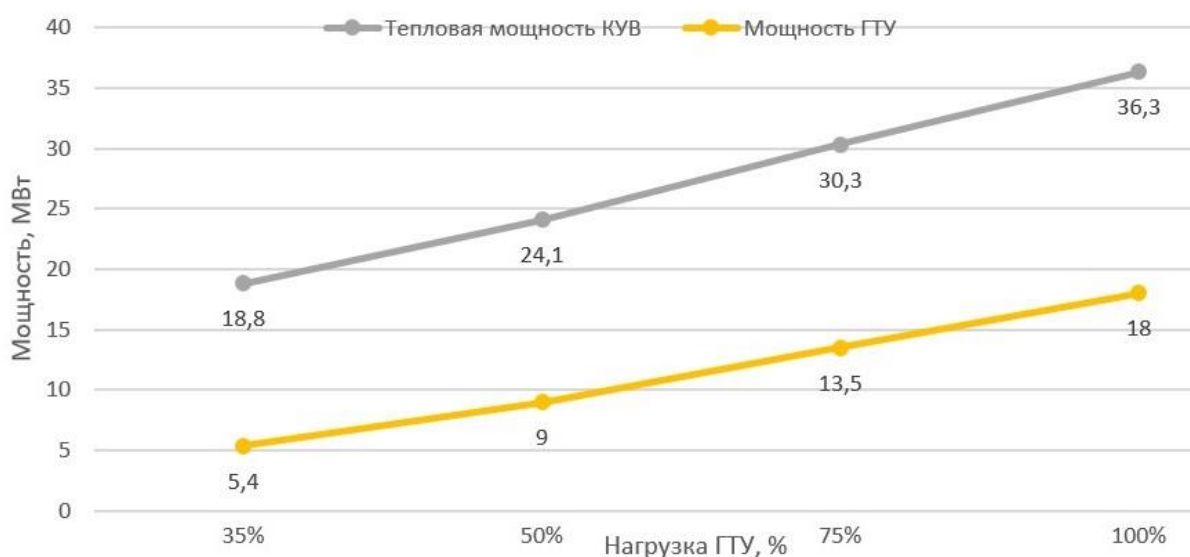


Рис. 1. Зависимость мощности от нагрузки НК-16-18СТ

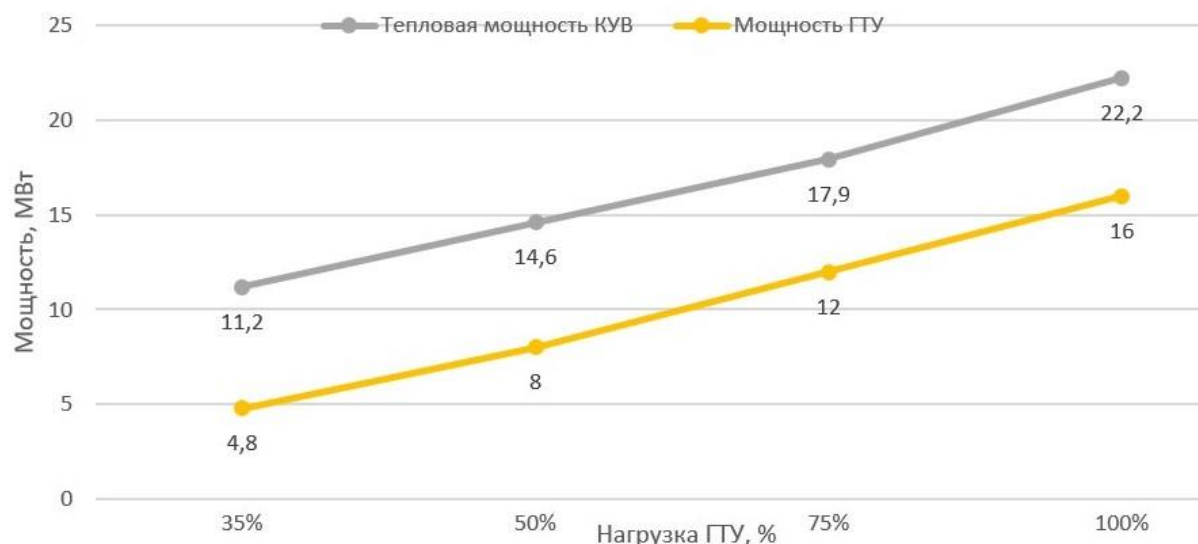


Рис. 2. Зависимость мощности от нагрузки НК-38СТ

При 100 % электрической нагрузке максимально-возможная тепловая мощность ГТЭУ «ВОЛГА» составит 38,7 МВт (при температуре наружного воздуха плюс 8°C). На графиках представлены зависимости газотурбинных двигателей, где наглядно можно увидеть зависимость заданных расчётных тепловых нагрузок и полученной расчетной электрической мощности ГТЭУ (нетто) – т. е. возможной к покрытию в данном режиме электрической нагрузки ГТЭУ.

Таким образом, использование установок, вырабатывающих тепловую и электрическую энергии, для обеспечения нужд локальных потребителей является одним из самых энергоэффективных способов [2]. Развитие и внедрение мини-ТЭЦ – реальный способ решить проблему нехватки энергетических мощностей достаточно быстро и с минимальными затратами. Кроме того, это еще и способ усилить конкуренцию в энергетике, тем самым дать толчок её развитию [3].

### Источники

1. Самарин О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность: моногр. М.: МГСУ: АСВ, 2009. 186 с.
2. Ваньков Ю.В., Зиганшин Ш.Г, Горбунова Т.Г. Влияние надежности тепловых сетей на функционирование инженерных систем» // Новости теплоснабжения. 2012. № 10. С. 30–35.
3. Денисов-Винский Н.Д. Мини-ТЭЦ как надежное средство решения проблемы энергообеспечения // Энергобезопасность и энергосбережение. 2007. № 2. С. 10–18.

## КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА ТЕПЛООВОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ НА АЭС

М.А. Муртазов

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

maratmurtazov@gmail.com

Повышение маневренности АЭС является одним из возможных способов регулирования графиков электрической нагрузки. В работе исследовано повышение маневренности энергоблока двухконтурной АЭС с реактором типа ВВЭР за счет использования системы аккумулирования тепловой энергии и дополнительной ПТУ. Определена экономическая эффективность системы теплового аккумулирования, включающей в себя аккумулятор фазового перехода, бак горячей воды и дополнительную ПТУ, для диапазона отпускных тарифов на электроэнергию.

**Ключевые слова:** атомная энергетика, теплоаккумулирующий материал, аккумулятор фазового перехода, дополнительная паротурбинная установка, баки горячей воды

Энергетика является важной составляющей экономики и промышленности страны. В России существует стратегия развития энергетики до 2035 г. [1], согласно которой, доля атомных электрических станций в европейской части энергосистемы будет увеличиваться. Рост доли АЭС, сопровождаемый переизбытком базовой мощности в энергосистеме, вызывает проблемы, связанные с прохождением минимумов и максимумов нагрузок, вследствие экономически оправданной загрузки АЭС с максимальным КИУМ.

Возможным решением сложившейся проблемы, является установка потребителей – регуляторов, которыми могут быть тепловые аккумуляторы фазового перехода (АФП). Главной особенностью таких аккумуляторов является стабильность и возможность поддержания высокого уровня температуры рабочего тела на выходе из аккумулятора. Однако такие аккумуляторы имеют существенный недостаток, такой как высокая стоимость.

Альтернативным менее затратным, но и менее эффективным типом тепловых аккумуляторов являются баки горячей воды. Проведенные исследования [2, 3] и анализ технических источников [4, 5] позволил обратить внимание на возможность объединения АФП и БГВ в единую систему теплового аккумулирования, которая представлена на рис. 1.

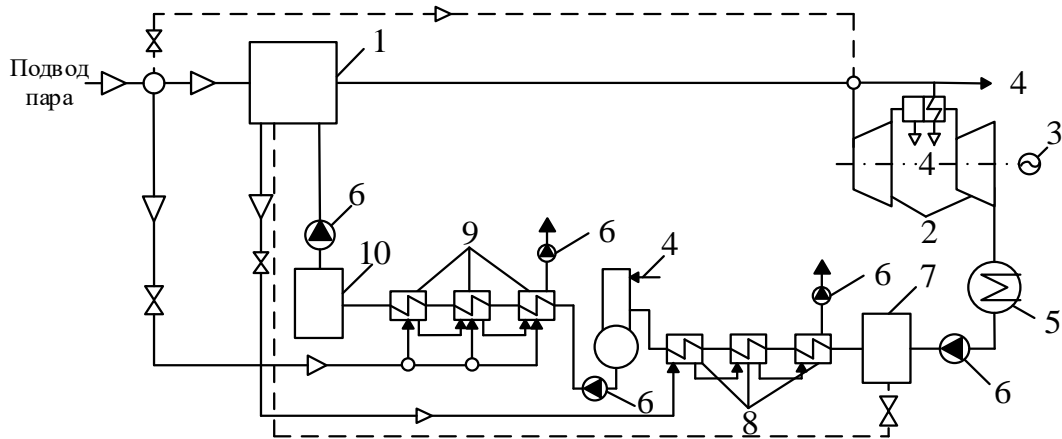


Рис. 1. Схема комбинирования системы теплового аккумулирования с АЭС: 1 – АФП; 2 – дополнительные ПТУ; 3 – электрогенератор; 4 – отбор пара в схему; 5 – конденсатор; 6 – насос; 7, 10 – бак холодной/горячей воды; 8, 9 – теплообменники первой/второй ступени

В часы снижения электрической нагрузки часть свежего пара направляется на зарядку АФП 1, конденсируется и поступает в теплообменники 8, через которые одновременно поступает вода из БХВ 7 в БГВ 10. Конденсат направляется в контур основной ПТУ перед ПГ. Часть свежего пара, поступает в теплообменники 9, где, конденсируясь нагревает поступающую в БГВ 10 воду. Конденсат пара подмешивается к питательной воде перед ПГ. За счет отбора свежего пара одна из ПТУ 2 работает в режиме холостого хода, при этом наблюдается просадка выработки основной ПТУ, учтенная при экономической оценке.

В период повышения электрической нагрузки питательная вода направляется из БГВ 10 в АФП 1. При этом, температура поступающей питательной воды близка к насыщению. Сгенерированный пар направляется в дополнительные ПТУ 2, а конденсат поступает в БХВ 7.

Наличие обводного контура позволяет в аварийной ситуации с обесточиванием станции обеспечить посредством энергии остаточного тепловыделения реактора генерацию свежего пара в ПГ с дальнейшим его подводом к одной из дополнительных ПТУ с целью электроснабжения собственных нужд АЭС [6].

Авторами проведено исследование технико-экономической эффективности разработанного энергокомплекса. Были приняты следующие исходные данные: разрядка – 15 ч, зарядка – 5 ч; суммарная мощность дополнительных ПТУ – 117 МВт (12 МВт и 75 МВт [6]); в качестве ТАМ выбран эвтектический состав 41 %  $\text{NaNO}_3$  – 59 %  $\text{NaOH}$ . Теплофизические свойства представлены в табл. 1.



Таблица 1

## Теплофизические свойства ТАМ

Теплоаккумулирующий материал	59% NaOH – 41% NaNO <sub>3</sub>	
Температура плавления, °С	266	
Теплота фазового перехода, кДж/кг	278	
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	~ 1 910	~ 2 150
Теплоемкость, кДж/кг·К	~ 1,85	~ 1,65
Теплопроводность, Вт/м <sup>2</sup> ·К	~ 0,75	
Стоимость, \$/кг	0,52	

Выбор ТАМ обусловлен не только значениями теплофизических показателей, но и дешевой стоимостью и легкодоступностью. Анализ открытых источников показал, что сплав 59 % NaOH – 41 % NaNO<sub>3</sub> имеет отличные показатели стабильности даже после 10 000 ч термоциклических нагрузок [7, 8].

Для принятых условий необходимо в часы спада электрической нагрузки в течение 5 ч с аккумулировать 2 068 МВт·ч, для этого необходимо 24 953 т ТАМ.

Таблица 2

## Предварительная оценка основных стоимостных характеристик

Наименование	Стоимость, млн руб.
Аккумулирующий материал	843,4
Основные элементы конструкции АФП с 20 % надбавкой, на доставку и монтаж	861,9
Баки горячей и холодной воды, с 30 % надбавкой, на теплоизоляцию, доставку и монтаж	210,7
Азотно-компрессорная станция с 20 % надбавкой, на доставку и монтаж	105,7
Паровая турбина 12 МВт	572
Паровая турбина 75 МВт	2 608
Модернизация электрохозяйства	493
Строительство помещения (принято 20 % от суммы капитальных вложений в конструкцию системы)	871,7
Итоговые капиталовложения	6 566,8

При исследовании технико-экономических показателей учтены следующие факторы: согласно [6], возможен отказ от теплообменников СПОТ путем замены их на дополнительную ПТУ 12 МВт, без потери требуемого уровня безопасности; участие АЭС в первичном регулировании частоты тока в энергосистеме без снижения мощности на 2 % [6].

Отсутствие информации эксплуатирующихся АФП в открытых источниках, сводит оценку капиталовложений к определению себестоимости материалов конструкции, работы изготовления, логистики и монтажа.

На основании Прогноза Минэкономразвития России по долгосрочному социально-экономическому развитию Российской Федерации на 2019 г., приняты три варианта отпускного тарифа. Норма дисконта принята в размере 11,28 %.

На рис. 2 показана зависимость накопленного чистого дисконтированного дохода (НЧДД) от установки системы теплового аккумулирования при прогнозной динамике отпускного тарифа от диапазона внепикового отпускного тарифа.

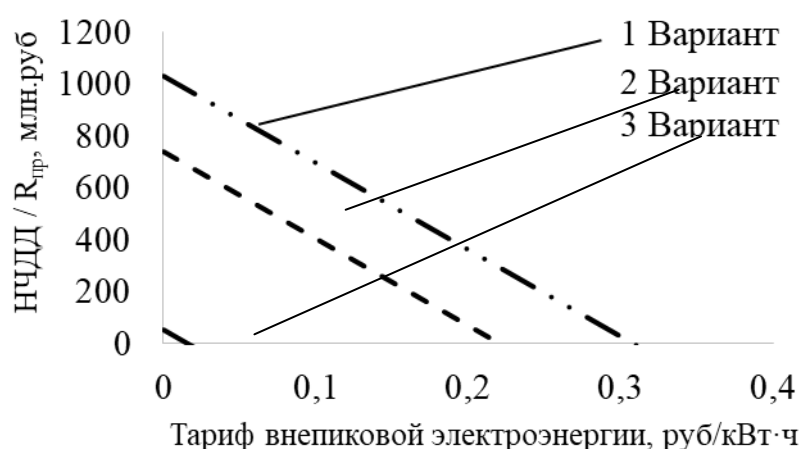


Рис. 2. Зависимость НЧДД от установки системы теплового аккумулирования

Таким образом, система окупает себя в течение расчетного периода (25 лет) при всех прогнозных отпускных полупиковых и внепиковых до 0,31 коп/кВт·ч тарифах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-38-90083).

### Источники

1. «Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года» [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/pode/1026> (дата обращения: 23.01.2021).

2. Способ повышения мощности и безопасности энергоблока АЭС с реактором типа ВВЭР на основе теплового аккумулирования: пат. 2680380 Рос. Федерация № 2017141963; заявл. 01.12.2017; опубл. 20.02.2019, Бюл. № 5.

3. Yurin V.E., Murtazov M.A. Efficiency investigation of nuclear power plant combination with a system of water and phase-transfer heat accumulators. DOI: 10.1088/1742-6596/1652/1/012043 // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1652.

4. Проект первой маневренной АЭС с аккумуляторами тепла / А.Е. Власов [и др.] // Атомная энергия. 1987. Т. 62, вып. 5. С. 302–307.

5. Бекман Г., Гилли П. Тепловое аккумулирование энергии / пер. с англ. М: Мир, 1987. 272 с.

6. Юрин В.Е. Разработка научных основ обеспечения безопасности атомных электрических станций на основе комбинирования с многофункциональными энергогенерирующими установками: дис. ... д-ра техн. наук. Саратов, 2020. 328 с.

7. Macroencapsulation and characterization of phase change materials for latent heat thermal energy storage systems / T.E. Alam [et al.] // Applied Energy. 2015. Vol. 154. Pp. 92–101.

8. Takahashi Y., Kamimoto M., Abe Y. Investigation of latent heat thermal energy storage materials // Thermochemica Acta. 1988. Vol. 123. Pp. 233–245.

УДК 699.86

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

Р.В. Мамонов<sup>1</sup>, Л.И. Шакурова<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>rmam98@mail.ru, <sup>2</sup>camaia\_lichshia@mail.ru

Науч. рук. А.Л. Осипов

Рассмотрены различные теплоизоляционные материалы, которые на сегодняшний день широко представлены на рынке и активно используются. Представлено описание основных свойств материалов, а так же их теплопроводности, проведена оценка их свойств с точки зрения практического применения.

**Ключевые слова:** теплопроводность, теплоизоляция, температура, срок службы, влагостойкость.

Основным потенциалом энергосбережения является снижение тепловых потерь. Приведение теплотехнических свойств объектов к современному уровню позволит решить проблему энергоэффективности жилого и промышленного строительства. Для проведения качественной классификации теплоизоляционных материалов необходимо исследовать их особенности изготовления и свойства [1].

Наиболее широко распространенным теплоизоляционным материалом на сегодняшний день является минеральная вата, в частности изготовленная из базальта, теплопроводность данного материала составляет 0,04–0,059 Вт/(м·К). Помимо минеральной составляющей в нее входят смолы для связывания компонентов. Данный материал является негорючим, обладает хорошими звукоизоляционными свойствами и обладает высокой стойкостью к химическому воздействию. Из недостатков данного материала можно выделить то, что он активно впитывает влагу и обладает высокой паропроницаемостью, по этой причине при использовании такой теплоизоляции необходимо дополнительно применять пароизоляционные материалы.

Следующим распространенным теплоизоляционным материалом является стекловата, которая состоит из отходов стеклянной промышленности, при этом волокна данного материала обладают большей толщиной по сравнению с минеральной ватой, что обеспечивает большую прочность. Теплопроводность данного типа изоляции составляет 0,030–0,052 Вт/(м·К). В остальном стекловата обладает свойствами схожими с минеральной, за исключением того, что имеет более низкий предел температурного воздействия и более низкий срок службы.

Далее обратим внимание на пенополистирол (ППС). Это материал, по сути являющийся пенопластом, состоящим на 98 % из воздуха и на 2 % – полистирола – продукта переработки нефти с различными модификаторами, его теплопроводность составляет 0,037–0,041 Вт/(м·К). Он плохо впитывает влагу и обладает низкой горючестью, при этом обладает невысоким сроком службы и небольшим диапазоном температур эффективной работы.

Схожим материалом является экструдированный пенополистирол, который по свойствам схож с обычным полистиролом, но в виду особенности технологии изготовления обладает более высоким сроком службы.

Одним из новых материалов, используемых для теплоизоляции является пеностекло или пористое стекло, изготавливаемое путем высокотемпературного запекания порошка стеклогранулята с газообразователями. Разнородный характер пор в материале обеспечивает высокие теплоизоляционные характеристики, теплопроводность находится в пределах от 0,04 до 0,05 Вт/(м·К). Изделия из данного материала имеют высокую водостойкость и обладают высоким температурным пределом вплоть до 900 °С.

Так же широко распространенным материалом является газобетон, зачастую из него изготавливают плиты небольших габаритов, теплопроводность данного материала в сухом состоянии составляет 0,08–0,15 Вт/(м·К). Подобные материалы чаще всего используют для теплоизоляции стен и перекрытий здания.

Еще одним материалом, который активно используется, но появился на рынке относительно недавно, является мипора. Она производится в процессе вспенивания мочевино-формальдегидной смолы с применением водной эмульсии. Из данного изготавливают блоки, плиты и крошки, при этом теплопроводность составляет всего 0,03 Вт/(м·К). Материал устойчив к температурам до 500 °С и обладает огромным ресурсом службы, однако в виду структуры материала подвержен воздействию влаги.

Теплопроводные свойства материалов рассмотренных в рамках данной работы представлены в таблице [2].

#### Теплопроводные свойства изоляционных материалов

Характеристика	Минеральная вата	Стекловата	Пенополистерол	
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,04...0,059	0,03...0,052	0,037...0,041	
Влагопоглощение, %	70	70	3,5	
Рабочая температура, °С	до 700	от –60 до 450	от –50 до 60	
Горючесть, марка	НГ	НГ	Г1–Г4	
Срок службы, лет	50	10	15	
Характеристика	Экструдированный пенополистерол	Пеностекло	Газобетон	Мипора
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,03	0,04...0,05	0,08...0,015	0,03
Влагопоглощение, %	0,4	1	20	20
Рабочая температура, °С	от –50 до 75	от –30 до 900	от –30 до 400	от –30 до 500
Горючесть, марка	Г1–Г4	НГ	НГ	Г2
Срок службы, лет	50	–	–	60

Таким образом, проведен анализ теплопроводности и некоторых других характеристик различных теплоизоляционных материалов, которые представлены на современном рынке и активно используются. Очевидно, что, каждый из материалов обладает своими преимуществами и недостатками, однако если судить по характеристике теплопроводности, то наиболее эффективными материалами являются все вышеперечисленные, за исключением газобетона, поскольку их теплопроводность находится в пределах от 0,03 до 0,06 Вт/(м·К). Поэтому при выборе материала для теплоизоляции из числа рассмотренных, в первую очередь стоит обратить внимание на прочие теплотехнические свойства в соответствии с поставленной задачей.

### Источники

1. Хагай В.Р., Рустемов Б.Е. Выбор энергоэффективного вида изоляции // Точная наука. 2017. № 11. С. 76–82.
2. Теплопроводность теплоизоляционных материалов / А.А. Богомолова [и др.] // Ресурсосбережение и экология строительных материалов, изделий и конструкций. 2020. С. 32–35.

УДК 66.045.12

## ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ТЕПЛООБМЕНА В ТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ

К.М. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

kirill-maslov-98@mail.ru

Науч. рук. Е.А. Лаптева

Выполнены исследования современных конструкций трубчатых теплообменников. Были описаны их особенности устройства и принципы работы.

**Ключевые слова:** теплообмен, трубчатый теплообменник, интенсификатор, турбулизация.

В современной энергетике стали весьма актуальны задачи интенсификации процесса теплообмена и создания высокоэффективных теплообменных аппаратов. В свою очередь очень распространенными

являются трубчатые теплообменники. Процесс теплообмена в таких теплообменных аппаратах происходит через теплопередающую поверхность. Здесь среды движутся в двух пространствах: трубном и межтрубном. Что касается сильных сторон данных теплообменников, то стоит отметить их хорошую стойкость к гидроударам, а также высокие рабочие характеристики по давлению. Более того они менее требовательны к качеству воды. Недостатки же следующие: большие габаритные размеры, сложность ремонта, чистки и низкий коэффициент теплопередачи [1]. Последний недостаток возможно устранить, для этого необходимы интенсификаторы теплообмена.

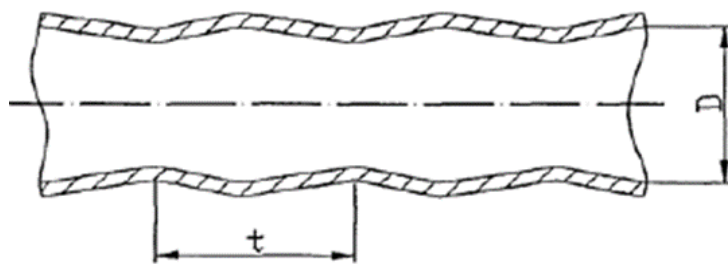
Существует интенсификатор, представленный в теплообменнике, содержащий наружную трубу с патрубками для входа и выхода теплоносителя и внутреннюю трубу для входа и выхода нагреваемой или охлаждаемой среды [2]. Здесь интенсификатор потока отличается тем, что он выполнен в виде не менее двух чередующихся проточных насадочных интенсификаторов, которые встроены во внутреннюю трубу, при этом длина интенсификатора потока равна длине внутренней трубы и составляет не более 10 диаметров внутренней трубы [4]. Главные преимущества этого интенсификатора:

1) повышение коэффициента теплоотдачи за счет искусственной турбулизации среды, благодаря применению не менее двух проточных насадочных интенсификаторов потока;

2) компактность. Этот пункт является отличительным. Здесь выполнено простое аппаратное оформление. А это позволяет применение в небольших помещениях и площадках, при этом не снижается эффективность теплообмена. А это является большим преимуществом.

Далее рассмотрим трубчатые поверхности теплообмена с волнистыми стенками [3]. Они состоят из участков конфузоров и диффузоров, которые изготавливаются путем накатки специальными роликами (см. рисунок). По условию получения потока с нестационарными отрывными явлениями выбираются углы расширения диффузоров и конфузоров. Эти отрывы потока интенсифицируют теплообмен.

Отрывы потока носят нестационарный характер, так как относительная длина диффузора мала, а также за счет наличия подпора конфузора. Хорошим образом это сказывается на интенсификации теплообмена. Ему способствует внешняя турбулентность при отрицательном градиенте давления. Это реализуется следующим образом: турбулентность генерируется в диффузорной области и благоприятно воздействует в конфузорной области.



Продольный разрез трубы типа конфузор-диффузор

Главными характеристиками являются: относительно низкое сопротивление и высокий теплообмен. В свою очередь теплосъем при равном сопротивлении увеличивается приблизительно в 1,5 раза.

А, например, в трубах со спиральными вставками интенсификация обусловлена совместным действием двух факторов [4]: турбулизацией и разрушением пристеночного слоя течения выступами за счет закрутки пристеночного потока под действием выступов. Через увеличение пристеночной скорости потока реализуется интенсифицирующее воздействие частичной закрутки течения низким выступом. Данный метод относят к комбинированным методам интенсификации теплообмена, за счет одновременного действия на поток турбулизации и закрутки.

Итак, были рассмотрены современные виды интенсификаторов теплообмена в трубчатых теплообменниках. Особое внимание было обращено на особенности конструкции и принцип работы. В конечном итоге можно сделать вывод, что существует достаточно решений для интенсификации теплообмена. При этом каждый из них находит применение в различных областях, обладает отличительными характеристиками. Поэтому и применение интенсификаторов в трубчатых теплообменниках столь разнообразно, от пищевой промышленности до ТЭС и ТЭЦ.

### Источники

1. Кишкин А.А., Краев М.В., Зуев А.А. Интенсификация теплообмена // *Авиационно-космическая техника и технология*. 2017. С. 34–38.
2. Теплообменник: п. м. 159510 Рос. Федерация №2015129176/06; заявл. 16.07.2015; опубл. 10.02.2016, Бюл. № 4.
3. Щербаченко И.К. Исследование интенсификации теплообмена в трубах с кольцевыми турбулизаторами плавной конфигурации. М.: Изд-во МЭИ, 2012. С. 151–154.
4. Дрейцер Г.А., Исаев С.А., Лобанов И.Е. Расчет конвективного теплообмена в трубах с периодическими выступами // *Проблемы гидродинамики и теплообмена в энергетических установках*. М., 2003. Т. 1. С. 57–60.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА ЯКУТИИ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Н.П. Местников<sup>1</sup>, А.М-Н. Альзаккар<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Северо-восточный федеральный университет, г. Якутск

<sup>1</sup>ИФТПС СО РАН им. В.П. Ларионова, г. Якутск

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

<sup>1</sup>sakhacase@bk.ru, <sup>2</sup>ahmadalzakkar86@gmail.com

Науч. рук. П.Ф. Васильев

Представлены материалы и расчеты экспериментального исследования по изучению влияния резко-континентального климата Якутии на функционирование монокристаллической солнечной панели с приведением графических интерпретаций и закономерностей с целью определения влияния внешних параметров климата Якутии на работу вышеуказанного оборудования. В рамках данного исследования авторами статьи проведены ряд экспериментов на период «февраль» с использованием солнечной электростанции малой мощности в условиях холодного климата с регистрацией данных внешних параметров, такие как: освещенность, температура поверхности солнечной панели и т. д. Таким образом, авторами статьи предварительно оценено влияние холодного климата Якутии на функционирование монокристаллических солнечных систем генерации с учетом процедур государственной регистрации на базе ФИПС.

**Ключевые слова:** монокристаллическая солнечная панель, внешние параметры, температура, освещенность, измерительное оборудование, холодный климат, Якутия.

Настоящая статья посвящена исследованию и изучению влияния холодного климата Якутии на функционирование монокристаллической солнечной панели с использованием методики определения энергетической эффективности солнечной электростанции малой мощности в условиях холодного климата Республики Саха (Якутия).

Якутия – это регион России, находящийся в северной части Дальнего Востока России с резко-континентальным климатом, где летняя температура составляет от 25 до 40 °С, а зимняя температура составляет от –35 до –65 °С с учетом относительно высокой доли влажности воздуха и наличием вечной мерзлоты. Следует отметить, что Якутия имеет слаборазвитую транспортную инфраструктуру с фактическим отсутствием

железнодорожной магистрали и круглогодичных автомобильных дорог. Таким образом, перевозка комплектующих и горюче-смазочных материалов для объектов генерации северной части Якутии имеет значительные трудности, а именно: увеличение удельной стоимости груза от 100 до 150 % со сроком доставки от 1,5 до 2,5 лет [1–5].

На основании вышеизложенного внедрение энергетически эффективных технологий в виде объектов ВИЭ в северную часть Якутии является актуальным и достижимым. Однако в настоящий момент отсутствует единая методика определения энергетической эффективности по объектам ВИЭ в условиях холодного климата Севера и Арктики.

В целях изучения влияния холодного климата Якутии авторами статьи собрана солнечная электростанция мощностью 50 Вт с гибкой монокристаллической панелью и учетом подключения измерительных приборов, такие как: мультиметр, люксметр, цифровой термометр и другие. На рис. 1 представлен внешний вид данной установки.



Рис. 1. Внешний вид солнечной электростанции

Также авторами статьи разработана предварительная версия методики проведения экспериментальных работ, представленная в таблице с использованием методологии проведения экспериментов [6].

В ходе выполнения экспериментальных исследований на базе ИФТПС СО РАН им. В.П. Ларионова в г. Якутске в феврале 2021 года при ясной погоде по вышеуказанной методике на рис. 2 получен и представляется график освещенности открытой местности, а также на рис. 3 представляется график генерации монокристаллической солнечной панели с единичной мощностью 50 Вт по напряжению (рис. 3, а) и силе тока (рис. 3, б).

## Методика проведения экспериментальных работ

Номер действия	Необходимые параметры и действия
1	Проведение эксперимента желательно при солнечной погоде с 10:00 по 14:00 ч после полудня (1-й этап) и с 14:00 по 16:00 ч после полудня (2-й этап)
2	Подготовка регистрационного материала в виде общей таблицы с измеряемыми параметрами с фиксированием вида погоды (солнечной, туманно, облачно)
3	Установка датчика температуры на темную поверхность солнечной панели с помощью термостойкого клея или скотча
4	Безопасный монтаж солнечной электростанции, где солнечная панель размещается на открытом воздухе при угле наклона панели $75^\circ$ относительно опоры, а остальные части внутри здания полигона
5	Подготовка измерительного оборудования, таких как: мультиметр, люксометр, цифровой термометр
6	15-минутное ожидание замерзания солнечной панели на открытом воздухе
7	Проверка исправность солнечной электростанции
8	Забор данных температуры поверхности панели с помощью цифрового термометра
9	Забор данных силы тока и напряжения панели с помощью мультиметра
10	Забор данных освещенности от источника излучения на открытом воздухе с помощью люксометра
11	Забор данных в соответствии с п. 8–10 через каждые 5 мин
12	Вид опытов: стандартное без внешних изменений
13	Кол-во шагов: 58 ед.
14	Число опытов: 1 ед. в том числе + 1 при 2-м этапе с 14:00 по 16:00 ч после полудня)
15	Обработка результатов с помощью расчета уравнения регрессии с использованием программы MS Office Excel

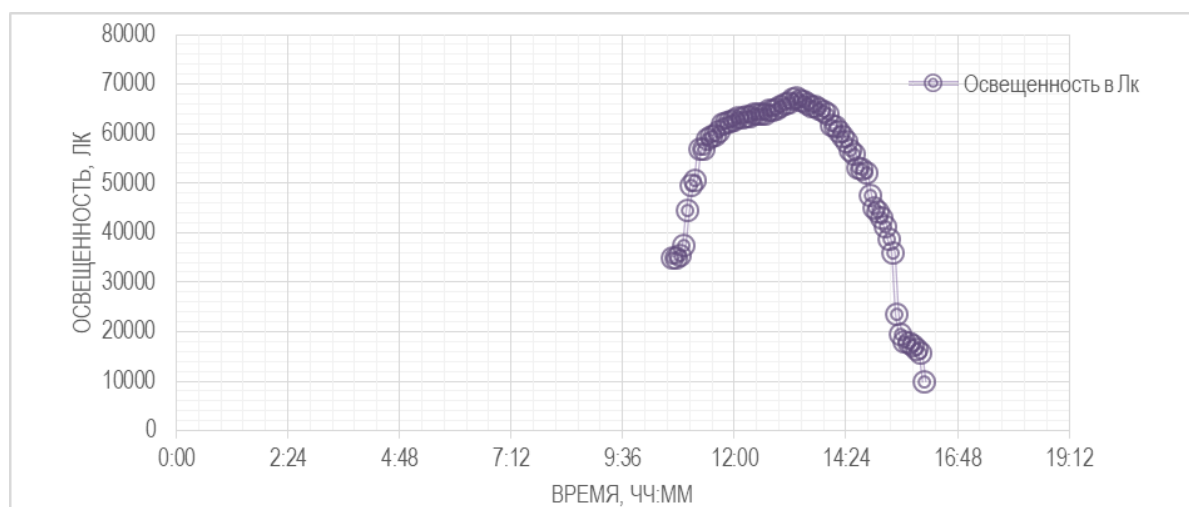


Рис. 2. График зависимости освещенности открытой местности от времени

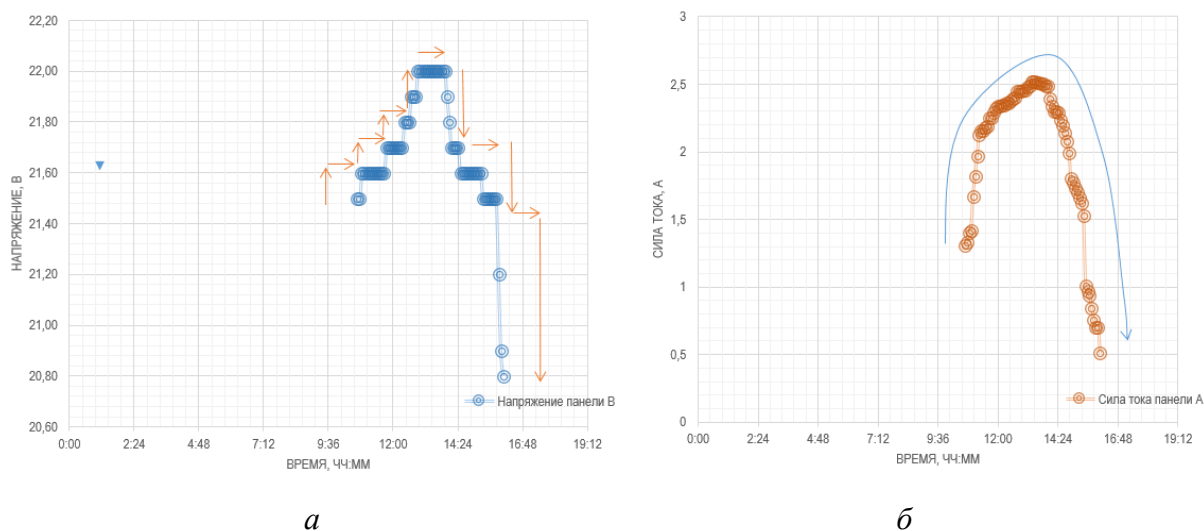


Рис. 3. График генерации монокристаллической солнечной панели

Анализом определено, что под влиянием параметров отрицательной температуры ( $-31\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и освещения (от 9 600 до 67 300 лк) зависимость напряжения солнечной панели имеет степенную зависимость в виде ступеней при увеличении показателя освещенности, указанные рыжими стрелками на графике. В этой связи определяется, что зависимость напряжения имеет пропорциональную зависимость от освещенности в течение всего светового дня.

Также под влиянием параметров отрицательной температуры ( $-31\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и освещения (от 9 600 до 67 300 лк) зависимость силы тока солнечной панели имеет степенную зависимость в виде параболы при увеличении показателя освещенности, указанная синей стрелкой на графике. В этой связи определяется, что сила тока имеет прямо пропорциональную зависимость от освещенности при сравнении с параметрами освещенности на рис. 2.

В заключение данной статьи выводится, что на основании вышеуказанной методики авторами проведены эксперименты, где определено, что на период «февраль» на территории г. Якутска напряжение монокристаллической солнечной панели имеет степенную зависимость в виде «ступеней», а сила тока в виде параболы и прямо пропорциональную зависимость от показателя освещенности с учетом влияния отрицательной температуры.

### Источники

1. Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учеб. пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. 128 с.

2. Повный А. Как устроены и работают солнечные батареи [Электронный ресурс]. URL: <https://recyclomag.ru/article/kak-ustroeny-i-rabotajut-solnechnye-batarei> (дата обращения: 25.04.2020).

3. Бессель В.В., Кучеров В.Г., Мингалеева Р.Д. Изучение солнечных фотоэлектрических элементов: учеб.-метод. пособие. М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2016. 90 с.

4. Местников Н.П., Нуруллин Э.Г. Исследование и моделирование процесса генерации ветровой и солнечной электростанции мощностью 650 Вт // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2019: матер. X Междунар. науч.-техн. конф. Казань, 2019. Ч. 2. С. 436–439.

5. Местников Н.П. Разработка децентрализованной системы электро-снабжения для фермерских хозяйств федерального проекта «Дальневосточный гектар» и Республики Татарстан на основе использования нетрадиционных источников энергии // Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты: сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. Кемерово, 2018. С. 237.

6. Нуруллин Э.Г., Основы научных исследований: учеб. пособие. Казань: Казанский ГАУ, 2017. 108 с.

УДК 621.315, 615.2

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУППОВОГО СОСТАВА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА МЕТОДОМ ТОНКОСЛОЙНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ**

Нгуен Зуи Хынг

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Вьет - Хунгский индустриальный университет, Ханой, Вьетнам.

Hungnguyenat73@gmail.com

Науч. рук. В.Ф. Новиков

Определен групповой состав трансформаторного масла с использованием радиальной тонкослойной хроматографии. В качестве растворителя использовали н-Гексан.

**Ключевые слова:** селективность, примеси, компонент, экстракция, удерживание, зависимость.

Для проведения сроки эксплуатации маслonaполненного электрооборудования проводят его диагностику, результаты которой позволяют сберечь электрическую энергию. Это связано с тем, что при недостаточно эффективной диагностики могут возникнуть аварийные ситуации на электрических подстанциях что приведет к недопоставке электроэнергии потребителям [1–3]. К одним из наиболее эффективных методов диагностики маслonaполненного электрооборудования относятся хроматографические методы, которые позволяют определять в трансформаторном масле концентрацию антиокислительной присадки, фурановы соединений, которые образуются в результате деструкции бумажной изоляции и газообразные вещества органической и неорганической природы [4–6].

Углеводородный состав трансформаторного масла состоит из большого количества индивидуальных компонентов, кипящих в широком интервале температур. Кроме того, в состав трансформаторного масла входят асфальтены и смолы, которые существенно затрудняют процесс хроматографического разделения индивидуальных компонентов, так как попадая в хроматографическую колонку могут вывести её из строя. В этой связи перспективным методом анализа трансформаторного масла может являться тонкослойная хроматография [7–10].

Экспериментальную часть работы проводили с использованием тонкослойных пластинок «Sorbfil» с флуоресцентным индикатором, позволяющим определять анализируемые компоненты в ультрафиолетовом свете.

Методом радиальной тонкослойной хроматографии на пластинках «Sorbfil» определяли групповой состав трансформаторного масла марки ГК-1. С этой целью в центральную область тонкослойной пластинки размером 100×100 мм наносили 1 мкл отработанного трансформаторного масла и затем микрошприцом подавали в эту область сорбат, в качестве которого использовали н-гексан. В результате этого процесса получили радиальную хроматограмму разделения отработанного трансформаторного масла на ряд зон. В свежем трансформаторном масле таких зон не было обнаружено. Таким образом, на качественном уровне можно провести предварительную оценку трансформаторного масла визуально по виду хроматограммы.

На рисунке приведена радиальная тонкослойной хроматография отработанного трансформаторного масла, из которой видно, что происходит разделение на группы, соответствующие парафиновым, нафтеновым и ароматическим углеводородам. Кроме того, выделяются асфальтены смолы, а также и антиокислительная присадка.

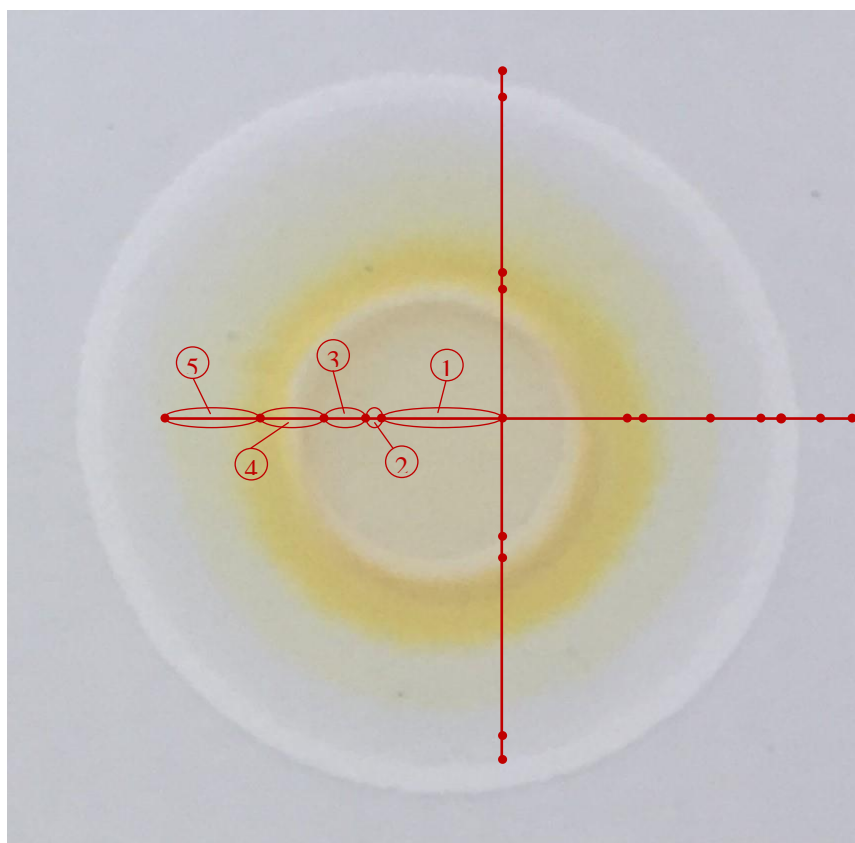


Рис. 1. Радиальная тонкослойная хроматография отработанного трансформаторного масла марки ГК-1. Элюент гексан. Тонкослойные пластинки “Sorbfil” с люминесцентным слоем. Объем подаваемого элюента в центр пластинки 20 мкл

Состав трансформаторного масла: парафиновые углеводороды – 10...15 %; нафтены и циклопарафины – 60...70 %; ароматические углеводороды – 15...20 %; асфальтены + смолы – 1...2 %; азотистые соединения – 0,8 %; нафтеновые кислоты – 0,02 %; ионол – 0,2...0,5 %.

### Источники

1. Липштейн Р.А. О механизме действия ингибиторов окисления. Присадки к маслам // Сб. тр. второго всесоюзн. научн. технич. совещания. М., 1968. С. 169–177.
2. An analysis of AC conductivity in moist oil-impregnated insulation pressboard / P. Zukowski [et al.] // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2015. Vol. 22, Is. 4. Pp. 2156–2164.
3. Transformer Insulations Materials and Ageing // Transformer Ageing: Monitoring and Estimation Techniques / Ed. Tapan Kumar Saha, Prithwiraj Purkait. John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., 2017. Pp. 1–33.
4. Thirugnanam R., Siluvairaj M., Radha K. Retreatment of aged mineral oil using semiconductive nanocomposites for power transformer application. DOI: <https://doi.org/10.1002/etep.2358> // International Transactions on Electrical Energy Systems 2017. Vol. 27, Is. 9.

5. Arakelian V. Effective diagnostics for-filled equipment // IEEE Electrical Insulation Magazine. 2002. Vol. 18, Is. 6. Pp. 26–38.

6. Application of vegetable oil-based insulating fluids to hermetically sealed power transformer [Электронный ресурс] / S. Tenbohlen., M. Koch [et al.] // Proc. of the 42<sup>nd</sup> CIGRE Session. 2008. URL: <https://library.e.abb.com/public/d9c7f1ba8834e4adc12577bb0037033c/Cigre%20Session%20Paper.pdf> (дата обращения: 16.02.2021).

7. Львов Ю.Н., Писарева Н.А., Сапожников Ю.М. Применение тонкослойной хроматографии при определении микроколичеств фурановых производных в изоляционном масле электрооборудования // Электрические станции. 1993. № 8. С. 48–51.

8. Карташова А.А. Новиков В.Ф. Тонкослойная хроматография как метод контроля фурановых соединений в трансформаторном масле // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. № 1-2. С. 138–145.

9. Танеева А.В., Зиятдинова Р.В., Стойков И.И. Влияние природы растворителей на сорбционные свойства тонкослойных пластинок «Sorbfil», модифицированных наночастицами тиакаликс[4]арен/SiO<sub>2</sub> // Сорбционные и хроматографические процессы. 2018. Т. 18, № 6. С. 865–871.

10. Новиков В.Ф., Карташова А.А., Танеева А.В. Инструментальные методы анализа: моногр.: в 3 ч. / под ред. проф. В.Ф. Новикова. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. Ч. 3. Газохроматографический контроль производственных процессов в энергетике. 228 с.

УДК: 543:054.2

## **ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОРГАНИЧЕСКИЕ РАСТВОРИТЕЛИ**

Р.Р. Нигматуллин<sup>1</sup>, В.Ю. Петров<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>rad3723@yandex.ru, <sup>2</sup>petrov.v.9713@gmail.com

Науч. рук. В.Ф. Новиков

Рассмотрено влияние постоянного магнитного поля на органические растворители. Анализировали с использованием восходящей тонкослойной хроматографии. Подсчитывалось среднее значение измерений по длине сорбционного слоя силикагеля.

**Ключевые слова:** магнитное поле, органические растворители, неодимовый магнит.



Проблема действия постоянного магнитного поля на различные вещества является интересной как с теоретической, так и с практической точки зрения. При этом исследование в этой области можно разделить на две составляющие. Первая заключается в изучении кинетических эффектов, в которых основная роль отводится магнитному взаимодействию при рекомбинации радикалов. Ко второй относится оценка влияния магнитного поля на структуру органической и неорганической жидкости, процессы адсорбции и физико-химических свойств полимерных материалов. Механизм влияния магнитных полей на физико-химических свойств жидкостей недостаточно ясен. При этом, как правило, вещества подразделяются на две категории: диамагнетики-ослабляют магнитное поле и парамагнетики-усиливают магнитное поле [1].

Из литературных данных известно, что постоянное магнитное поле оказывает влияние на свойства вещества и материалов [2]. В хроматографических методах анализа широко применяются органические растворители, которые являются экстрагентами. Интересно было наблюдение за влиянием постоянного магнитного поля на свойства этих органических растворителей в условиях тонкослойной хроматографии [3].

Для проведения эксперимента применяли неодимовый постоянный магнит, который при воздействии атомных магнитных полей с внешним магнитным потоком усиливает влияние магнитного поля, либо ослабляет при их противоположной направленности [4].

В таблице представлены результаты эксперимента с метилэтилкетон, углерод четыреххлористый, бензил хлористый.

#### Влияние магнитного поля на время удерживания органического растворителя

Длина, см	Метилэтилкетон		Углерод четыреххлористый		Бензил хлористый	
	с полюсом <i>N</i>	без магнита	с полюсом <i>N</i>	без магнита	с полюсом <i>N</i>	без магнита
1	0,01	0,05	0,03	0,06	0,07	0,02
2	0,20	0,42	0,48	0,50	1,27	1,05
3	0,56	1,41	2,51	2,47	4,45	3,08
4	2,07	3,04	8,55	5,36	7,48	6,40
5	3,33	5,17	19,43	11,49	13,21	11,45
6	5,18	9,04	34,11	22,01	18,56	16,46
7	8,39	14,16	46,56	33,24	24,42	23,04
8	13,17	21,36	62,24	42,53	31,20	31,29
9	18,57	31,31	80,0	51,23	39,29	38,11
10	27,09	43,12	98,20	61,37	47,07	47,45

Из рисунка видно, что время удерживание метилэтилкетона проходит быстрее, чем у бензил хлористого и углерода четыреххлористого. Это объясняется тем, дипольный момент различен и при взаимодействии с постоянным магнитным полем либо ускоряет, либо замедляет воспроизводимость растворителей [5].

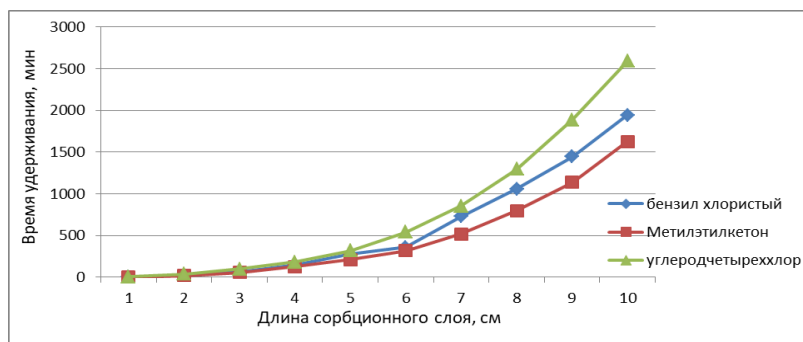


График зависимости время удерживание от длины сорбционного слоя

### Источники

1. Вульфсон С.Г. Молекулярная магнетохимия. М.: Наука, 1991. 260 с.
2. Абрамзон Л.А. Поверхностно-активные вещества. Свойства и применение. Л.: Химия, 1984. 304 с.
3. Дорфман Я.Г. Магнитные свойства и строение вещества. М.: ЛКИ, 2020. 376 с .
4. Минкин В.И., Осипов О.А. Справочник по дипольным моментам. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1965. 263 с.
5. Сальников Ю.И., Глебов А.Н., Девятов В.Ф. Магнетохимия и радиоспектроскопия координационных соединений. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1989. С. 4–33.

УДК 66.074.51

### ОЧИСТКА ГАЗА В СКРУББЕРЕ ВЕНТУРИ

В.А. Окружнов<sup>1</sup>, Е.А. Лаптева<sup>2</sup>  
 ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
 okruzhnoff.vlad@yandex.ru

Изложен принцип действия скруббера Вентури. Также описаны проблемы в эксплуатации скруббера. Выявлены достоинства и недостатки.

**Ключевые слова:** скруббер Вентури, мокрая очистка, дымовые газы, очистка газа.

В настоящее время одним из наиболее актуальных вопросов охраны окружающей среды является проблема очистки воздуха от загрязнения частицами пыли, которые оказывают негативное воздействие на здоровье людей.

Скруббер Вентури – устройство для очистки газов от примесей. Скруббер относится к аппаратам мокрой очистки. Он эффективно улавливает частички пыли, а при применении растворов реагентов вместо воды осуществляет адсорбцию газообразных загрязнений, а также широко используются при улавливании продуктов коксования и очистке промышленных газов от пыли, для улавливания и охлаждения газов в различных технико-экономических процессах [1].

Скрубберы находят широкое применение в обрабатывающей, пищевой, нефтехимической, нефтегазовой, химической, энергетической промышленности, цветной и черной металлургии.

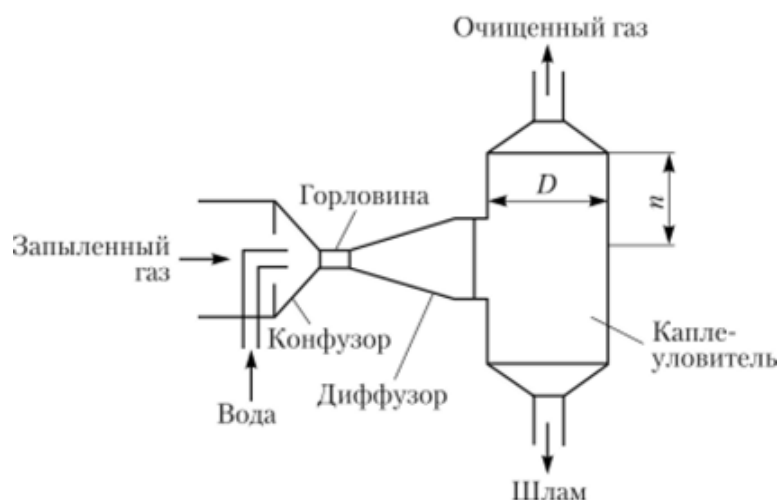


Рис. 1. Скруббер Вентури

Скруббер Вентури очищает дымовые газы от мелкодисперсных частиц менее 5 мкм, и удаляет диоксид серы. Пыльные газы, попадая в трубу, сразу вступают в контакт с жидкостью. В верхней части скруббера газовый поток и жидкость сталкиваются и жидкость, разбиваясь на капли, улавливает частицы пыли. Далее эта смесь попадает в каплеотбойник и под действием центробежных сил смоченные частицы удаляются из потока газа, попадая в шламоотбойник [2].

Скрубберы рекомендуются для охлаждения газа и улавливания растворимой пыли, например, после охладителей, сушильных барабанов, аппаратов кипящего слоя.

Основной проблемой скруббера Вентури является абразивный износ стенок, возникающий из-за высоких скоростей газа.

Достоинствами скрубберов Вентури является их простота конструкций и низкая стоимость. Недостатками являются, то, что жидкость тоже нуждается в очистке, для этого нужно строить отстойники, тратить энергию на перекачку пульпы и проводить трубопроводы. Также

недостатком является абразивный износ стенок, возникающий вследствие высоких скоростей газа. Но эту проблему можно решить путем покрытия горловины изнутри слоем карбида кремния или сделать сменной внутреннюю втулку из этого вещества.

Некоторые из этих недостатков можно устранить подбором насадки, увеличивающей площадь поверхности контакта фаз, снижающей энергозатраты и повышающей эффективность очистки дымовых газов.

### **Источники**

1. Гнездилов М.В., Ежов В.С. Совершенствование системы очистки дымовых газов установки сжигания радиоактивных отходов // Поколение будущего: взгляд молодых ученых – 2020: сб. науч. ст. 9-й Международ. молод. науч. конф. Курск, 2020. С. 243–246.

2. Танаев А.А., Шленкин А.К. Экобиозащитная техника. Аппараты мокрой очистки отходящих газов от примесей. Скруббер вентури // Актуальные проблемы современной экологии: матер. Всерос. конкурса студ. науч.-исслед. работ, посв. году экологии в России. 2018. С. 234–236.

УДК 620.9

## **ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ НЕЗАВИСИМОЙ СХЕМЫ ПРИСОЕДИНЕНИЯ К ТЕПЛОВЫМ СЕТЯМ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ТЕПЛОТЫ**

Т.И. Сагдиева (Галиева)<sup>1</sup>, Р.Р. Тактамышева<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>tansilu.galieva@yandex.ru, <sup>2</sup>ruschanija2002@mail.ru

Проанализированы достоинства и недостатки независимой схемы присоединения к тепловым сетям потребителей теплоты.

**Ключевые слова:** тепловые сети, потребителей теплоты, независимой схемы присоединения.

Тепловые сети – система прочно и плотно соединенных между собой трубопроводов, предназначенных для переноса теплоты от источника теплоты до потребителя. Это наиболее дорогостоящий компонент системы централизованного теплоснабжения.

Подключение систем отопления и вентиляции может осуществляться по зависимой и независимой схеме. При зависимой схеме подключения сетевая вода поступает непосредственно в отопительные приборы

абонента (применяются в жилых зданиях высотой не более 13 этажей). В независимых схемах подключения теплоноситель, который циркулирует по тепловым сетям, нагревает воду в теплообменнике, а уже нагретая вода поступает в систему отопления здания и отопительные приборы [1].

В случае, если в технической схеме в соответствии с условиями системной прочности нельзя допустить увеличения гидравлического давления, иначе говоря величина давления воды в наружном трубопроводе должна быть больше величины давления во внутреннем трубопроводе, то применяется независимая схема присоединения.

Схема, изображенная на рисунке, показывает независимое присоединение системы отопления к тепловым сетям. Вода в котле нагревается примерно до 115 °С, после чего по подающему трубопроводу тепловой сети проходит через затворный клапан 1 и поступает в теплообменный аппарат 3, в котором она через стенку нагревает вторичную воду, циркулирующую в отопительных приборах абонента. Охлажденная жидкость возвращается в обратный трубопровод тепловой сети. Циркуляция воды осуществляется насосом 5. Горячее водоснабжение абонентов производится сетевой водой непосредственно из тепловой сети, то есть по открытой схеме. Вода из подающего трубопровода тепловой сети поступает через клапан регулятора температуры 6 в смеситель 7. Регулятор температуры поддерживает температуру воды (60 °С). Из смесителя вода поступает в местную систему горячего водоснабжения. Обратный клапан 2 препятствует перетеканию воды из подающего трубопровода в обратный [2].

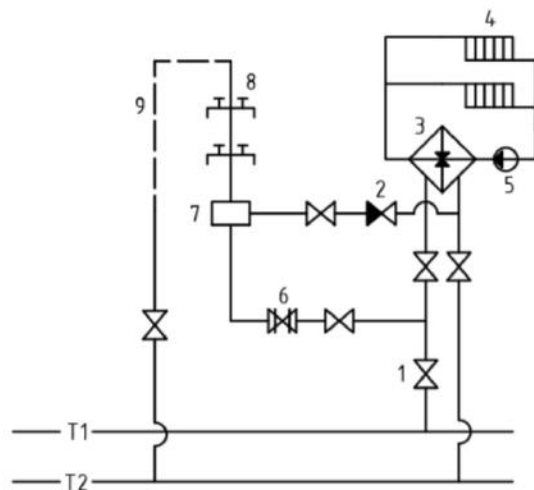


Схема присоединения с независимой системой отопления

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что требуются огромные затраты на обслуживание данной системы, ремонт будет трудоемким и дорогостоящим, и кроме того описанная система отопления зависит от электроснабжения, так как в системе используется электрический насос.

Но кроме недостатков независимая схема присоединения к тепловым сетям имеет и ряд преимуществ. В частности, преимуществами являются:

- возможность гибкой регулировки температурного режима в помещениях (теплоноситель изолирован от котла теплоносителя системы отопления) путем поддержания необходимого давления;
- применения различного химического состава теплоносителя;
- получение эффекта энергосбережения, экономия тепла от 10 до 40 %;
- возможность эффективной организации системы теплоснабжения при значительном удалении и территориальному разбросу потребителей;
- система отопления показывает высокий уровень надежности;
- значительно улучшается качество сетевой воды горячего водоснабжения [3].

### **Источники**

1. Сухов В.В., Морозов М.С. Инженерные сети: учеб. пособие / под общ. ред. В.В. Сухова; ННГАСУ. Н. Новгород: ННГАСУ, 2019. 179 с.
2. Варфоломеев Ю.М., Кокорин О.Я. Отопление и тепловые сети. М.: Инфра-М, 2007. 480 с.
3. Назарова В.И. Современные системы отопления. М.: РИПОЛ классик, 2011. 320 с.

УДК 551.521.1

## **АНАЛИЗ ИЗЛУЧЕНИЯ И ПЛОТНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ПОТОКА В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН**

Сеу Джару Г.Ж.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

seudjarou@outlook.com

Науч. рук. В.Ф. Новиков

Цель работы смоделировать и определить эффективную величину плотности падающего солнечного потока на разные фасады биоклиматической точки X в географическом регионе Республики Татарстан (Россия). Действительно, для расчета плотности солнечного потока необходимо знать точное местоположение Солнца в каждый момент дня, учитывая атмосферу как изотропный источник рассеянного солнечного излучения. Численное моделирование почасовой эволюции внешней температуры,

а также количества солнечного потока с использованием климатических данных за 2019 г. позволило оценить общую величину плотности солнечного потока в любой точке область, край. Эта модель основана на фактических физических параметрах из базы данных NSRDB, указанной в NREL 2525830.

**Ключевые слова:** Облучение, температура, солнечное излучение, плотность потока.

Подобно таким державам, как США, Китай и Германия, Российская Федерация не является исключением: по оценкам, экономически эксплуатируемые возобновляемые источники энергии составляют от 25 до 35 % потребления первичной энергии в России [1]. Несмотря на свое северное расположение, Россия обладает значительными солнечными ресурсами, наибольший потенциал которых находится на юго-западе (Северный Кавказ, регионы Черного и Каспийского морей), юге Сибири и Дальнем Востоке. Таким образом, в интересах увеличения дополнительных возможностей экспорта энергии развитие возобновляемых источников энергии позволит стране ограничить использование ископаемого топлива для внутреннего потребления. Действительно, использование солнечной энергии могло бы стать важным решением проблемы эффективности тепловой сети, позволяя отключать котельные, работающие на ископаемом топливе, летом, тем самым снижая их потребление зимой и способствуя борьбе. Как правило, мы используем программное обеспечение для определения размеров тепловых установок с использованием интегрированных баз данных для расчета солнечного потока, основанного в нашем случае, по существу, на американской модели SAM (System Advisor Model) Национальной лаборатории возобновляемых источников энергии (NREL).

Первым нашим шагом является определение астрономических параметров изучаемого региона. Действительно, принимая во внимание аperiodический оборот Земли вокруг Солнца из-за гравитационного взаимодействия Луны и других планет; важно иметь точное его положение во время вращения Земли [2]. Для этого факта рекомендуется определить две географические величины: долготу и широту места. Определение падающего солнечного потока на стены для ориентации точки  $X$  в этом регионе, было изучено путем анализа влияния климатических условий на эволюцию солнечного потока. Кроме того, в этой работе мы представим цифровую процедуру оценки плотности солнечного потока для различных фасадов, составляющих биоклиматическое здание. Действительно, также были представлены астрономические данные, дающие информацию об

излучении, полученном землей. Информация, необходимая для построения баланса солнечной энергии, получается на основе синусоидального изменения температуры окружающей среды и общего потока, принимаемого в горизонтальной плоскости. Эта информация была получена из окна загрузки NSRDB для идентификатора 2525830 2019 г. (рис. 1).

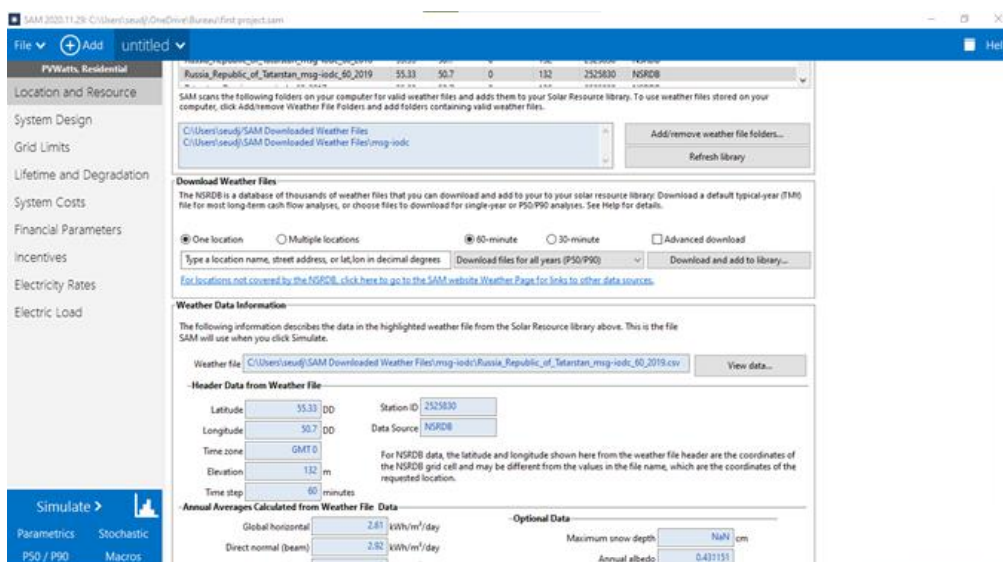


Рис. 1. Программное обеспечение SAM от Национальной исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии

Регион, который мы исследуем, Республика Татарстан, взятая как место имплантации с астрономическими ориентирами,  $\varphi = 55^{\circ}19'48''N$  и  $\lambda = 50^{\circ}42'00''E$ . Для выбора территории (Республика Татарстан) характерен умеренно-континентальный климат средних широт, с жарким летом и умеренно-холодной зимой. Самым жарким месяцем является июль со средней месячной температурой воздуха от 18 до 20 °С, самым холодным является январь со средней месячной температурой –13 °С, поэтому средняя солнечная энергия достигает около 2,92 кВтч/м<sup>2</sup> D [1]. Это моделирование проводилось согласно метрологическим показателям на 2019 г.

Формальное разрешение системы уравнений, управляющих этим движением, невозможно, но мощность современных компьютеров позволяет приблизиться к нему при условии знания положения и скоростей всех тел в данный момент (что оказывается очень сложно за несколько миллионов лет). Небольшая ошибка в этих факторах может серьезно повлиять на результаты. Однако методы математического моделирования позволяют точно рассчитать изменения во времени следующих параметров орбиты:



- суммарная интенсивность солнечной радиации  $I_s$ ;
- суммарная интенсивность месячной солнечной радиации  $Q$ ;
- интенсивность суммарной солнечной радиации в плоскости измерения  $I_s$ ;
- коэффициенты положения плоскости измерения для прямой и рассеянной радиации соответственно  $P_d$ ;

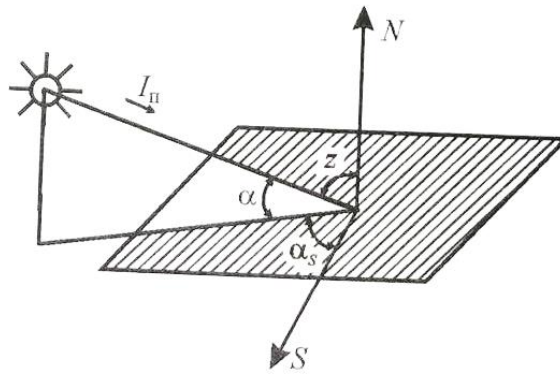


Рис. 2. Схема для определения интенсивности прямой и рассеянной радиации на горизонтальную поверхность

Результаты математического моделирования астрономических параметров.

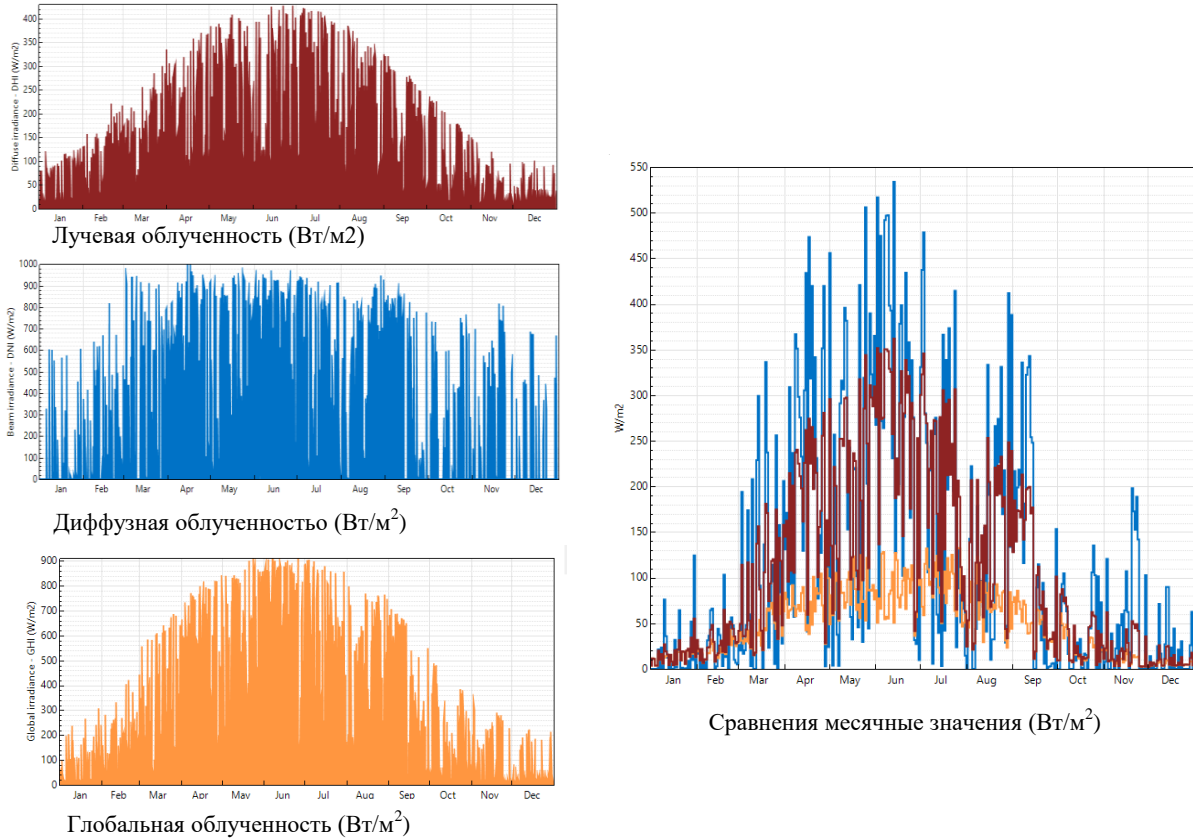


Рис. 3. Месячные значения энергии облучения Республики Татарстан

В области солнечного отопления или кондиционирования воздуха преобладающую роль играют различные лучистые и тепловые потоки. В этом контексте настоящая работа направлена на определение количества солнечного потока для каждого фасада индивидуальной биоклиматической точки X, расположенной в Республике Татарстан, с целью решения вопроса об эффективности тепловой сети.

Из полученных результатов мы делаем вывод, что в Республике Татарстан имеются солнечные дни и месяцы, более или менее благоприятные для использования солнечной энергии в зависимости от времени года. На территории республики Татарстан наблюдаются температуры со средними значениями около 4 °С в год. При этом более высокие температуры наблюдаются с мая по август, которые имеют средние значения до 15 °С. Таким образом, плотность солнечного потока в среднем за год составляет 108,84 Вт/м<sup>2</sup>, а с апреля по сентябрь выше 500 Вт/м<sup>2</sup>.

### Источники

1. «Географическое положение и климат» URL: <https://tatarstan.ru/about/geography.htm> (дата обращения: 17.01.2021).

2. Бутузов В.А, Бутузов В.В. Использование солнечной энергии для производства тепловой энергии: справ.-метод. изд. / под общ. ред. П.П. Безруких. М.: Теплоэнергетик, 2015. 290 с.

УДК 536.2

## ТЕПЛОТВОД В ЛУННЫЙ ГРУНТ

М.Е. Сметанникова

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва

<sup>2</sup>НИЦ «Курчатовский институт»

rita.smetannikova@yandex.ru

Науч. рук. Д.И. Борисенко<sup>1,2</sup>

Космические инженеры длительный период рассматривали лунный грунт (реголит) только как локально доступный материал для строительства аванпостов на Луне, отсюда возникает вопрос о возможности теплоотвода в реголит Луны.

**Ключевые слова:** лунный грунт, теплопроводность, теплоемкость, методы теплоотвода, перенос энергии, электросолитон.

Целью работы является рассмотрение методов, как в лунный грунт можно предавать сбросную теплоту.

Задачи: проанализировать возможность теплоотвода в лунный грунт (реголит) и рассмотреть способы теплоотвода в реголит.

## **Введение**

Луна как естественный спутник Земли владеет уникальными свойствами и ресурсами. Во-первых, в данное время огромную заинтересованность представляет изучение внутреннего строения Луны [1], получению более полной и детальной информации о её строении. Другим увлекательным нюансом освоения Луны считается вероятность применения ее поверхности с целью размещения разного научного оборудования с целью выполнения обширной области астрономических и астрофизических экспериментов. Необходимо выделить, оборудование исследовательских полигонов на Луне обязано владеть возможностью продолжительно функционировать согласно непростой и гибкой программе, основательно также результативно работать в экстремальных условиях космического пространства, при воздействии резких перепадов температур, метеоритной бомбардировки, облучения солнечным ветром и космическими лучами [1].

Отсюда следует, что формирование длительной базы (как ожидаемой, так и автоматической) потребует повышение мощностей – повышение работы (большего количества и большей интенсивности) устройств, а значит по Второму началу термодинамики необходимо больше отводить теплоты. Теплоотвод в лунный грунт необходим как альтернатива теплоотводу излучением – для работы в дневное время.

## **Теплопроводность и теплоёмкость лунного грунта**

Теплоёмкость реголита определяется его минеральным и химическим составом и может быть рассчитана на основе суммы удельных теплоёмкостей каждого компонента и его массовой концентрации. Теплоёмкость как кристаллических, так и стекловидных горных пород с повышением температуры растёт. Экспериментальные данные по удельной теплоёмкости лунных горных пород были получены для образцов лунного грунта, доставленных с мест посадок кораблей «Аполлон-11» и «Аполлон-12», «Аполлон-14», «Аполлон-15» и «Аполлон-16», станций «Луна-16» и «Луна-20». Из этих данных следует, что удельная теплоёмкость лунного реголита в диапазоне температур от 90 до 350 К меняется от 275,7 до 848,9 Дж кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup> [3].

Теплопроводность реголита находится в зависимости от температуры, от минералогического состава, формы и размера частиц, от пористости и плотности. Модель реголита как правило рассматривается в виде квазинепрерывной среды, в которой теплопроводность считается функцией от температуры. Расчётные значения теплопроводности реголита показывают, что на глубинах 50–140 см теплопроводность меняется от  $1,2 \cdot 10^{-2}$  до  $2,2 \cdot 10^{-2}$  Вт/м<sup>2</sup>К<sup>2</sup> [3].

В поверхностном (1–2 см) слое теплопроводность реголита очень зависит от температуры и характеризуется весьма невысокими значениями. При средней температуре лунной поверхности в районе посадки «Аполлона-17» в 220 К теплопроводность составляет приблизительно  $1 \cdot 10^{-3}$  Вт/м<sup>2</sup>К<sup>2</sup> [4]. На глубине около 2 см теплопроводность реголита увеличивается в 5–7 раз по сравнению с величиной теплопроводности на поверхности, что обусловлено, в основном, повышением плотности грунта с глубиной [3].

Как показали замеры в участках посадки кораблей «Аполлон-15» и «Аполлон-17», уже на глубине 35 см суточные колебания температуры составляют меньше 6 К, и целиком затухают на глубине 80 см, однако годовые колебания температуры наблюдаются на всей глубине измерения. Для диапазона глубин 16–186 см измеренные градиенты температур составляют 0,79–2,52 К/м, а температуропроводность –  $0,74–1,00 \cdot 10^{-4}$  см<sup>2</sup>с<sup>-1</sup> [3].

### **Возможные методы теплоотвода в лунный грунт**

В земных условиях при утилизации сбросной (низкопотенциальной) теплоты зачастую используют тепловые насосы. Система парокомпрессионного теплового насоса содержит два теплообменных аппарата – испаритель, в котором совершается испарение жидкого холодильного агента за счет подведения теплоты при невысоком давлении от среды с низким потенциалом, и конденсатор, в котором происходит конденсация пароподобного холодильного агента при повышенном давлении за счет отдачи теплоты теплоприемнику (см. рисунок). В схеме предусмотрен компрессор для отсасывания из испарителя и сжатия паров холодильного агента до давления конденсации [4].

## Перенос энергии по цепи

Наиболее эффективным в плане применения энергии являются биологические объекты. Применительно к живым системам задача переноса энергии с участием электронов была решена Давыдовым [5]. Он показал, что система переноса электрона может быть найдена, если учесть нелинейное взаимодействие между атомными группами в самой молекулярной цепи, по которой движется электрон, в виде смещений равновесных положений атомных групп молекулы. Было показано, что в этом случае по молекулярной цепи перемещается квазичастица, представляющая собой электрон с окружающей его локальной деформацией, названная Давыдовым «электросолитон». Устойчивость электросолитона определена взаимной компенсацией в молекулярной цепи эффектов нелинейности и дисперсии и наиболее проявляется в мягких одномерных цепочках из пептидных групп в белках. Двигаясь всегда со скоростью, меньшей скорости продольного звука, электросолитон не излучает фононов, т. е. не теряет своей энергии. Механизм образования электросолитона абсолютно решает задачу объяснения эффективности переноса электронов без потери энергии в цепях электронного транспорта [6].

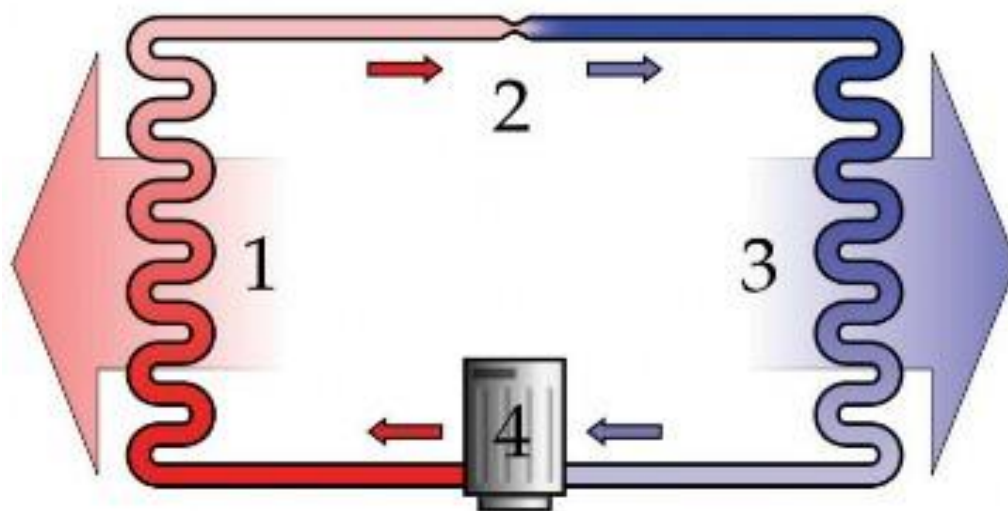


Схема парокомпрессионного теплового насоса: 1 – конденсатор; 2 – дроссель;  
3 – испаритель; 4 – компрессор [5]

Каковы физические основы переноса электронов по этой цепи. Каждый участник транспортной цепи может быть охарактеризован окислительно-восстановительным потенциалом (редокс-потенциалом) –

величиной, характеризующей способность вещества принимать электроны. Чем больше редокс-потенциал, тем сильнее сродство вещества к электрону [6].

## Выводы

Из представленных методов можно полностью исключить для практического применения, пожалуй, парокомпрессионный насос, поскольку крайне сложно будет оценить тепловое сопротивление при контакте с лунным грунтом. Для других двух методов не будет иметь значения наличие теплового сопротивления при контакте с лунным грунтом, однако метод переноса энергии по цепи, тоже не применим, так как, электросолитон, который перемещается по молекулярной цепи, характерен тем, что энергия в нем не теряется. Ввиду ограниченности объёма наблюдений, состава, состояния лунного грунта на больших глубинах анализ возможности теплоотвода в лунный грунт оказывается неоднозначным.

## Источники

1. Дудкин К.К. Контактное измерение плотности внутреннего теплового потока Луны // Тр. 7-й Рос. Нац. конф. по теплообмену. М., 2018. Т. 3. С. 365–368.
2. «Перспективы изучения и освоения луны» [Электронный ресурс]. URL: [http://www.telenir.net/nauchnaja\\_literatura\\_prochee/kosmicheskie\\_apparaty\\_issleduyut\\_lunu/p6.php](http://www.telenir.net/nauchnaja_literatura_prochee/kosmicheskie_apparaty_issleduyut_lunu/p6.php) (дата обращения: 11.03.2021).
3. «Плотность и пористость реголита» [Электронный ресурс]. URL: <http://unnatural.ru/pp-rg> (дата обращения: 11.03.2021).
4. Использование энергии окружающей среды [Электронный ресурс] // Энергетика: история, настоящее и будущее. В 5 кн. Кн. 5. Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетики в современном мире / С.Г. Плачкова [и др.]. URL: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-1/section-2/2-9> (дата обращения: 11.03.2021).
5. Давыдов А.С. Биология и квантовая механика. Киев: Наук Думка, 1979. 296 с.
6. «Перенос энергии» [Электронный ресурс]. URL: <http://lechebnauga-glina.ru/?p=1709> (дата обращения: 11.03.2021).

## ЧИСЛЕННОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ЭМУЛЬСИИ

О.В. Соловьева<sup>1</sup>, Д.М. Латыпова<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>solovyeva.ov@kgeu.ru, <sup>2</sup>dinara-latypova-00@mail.ru

Проведено численное моделирование и экспериментальные исследования процесса разделения водо-нефтяной эмульсии для определения влияния формы пластин на разделение водонефтяного потока. Проведен анализ зависимости концентрации от расхода эмульсии.

**Ключевые слова:** водо-нефтяная эмульсия, разделение потока.

В настоящее время существует острая потребность в новых энергоэффективных решениях для разделения водонефтяных эмульсий, особенно стабилизированных поверхностно-активными веществами, поскольку нефть является одним из ключевых составляющих энергетической промышленности нашей страны [1]. Проблемы, возникающие в процессе нефтедобычи, не теряют своего значения и актуальности, например, проблема необходимости разделения водонефтяных эмульсии, что напрямую связано со спецификой процесса извлечения нефти из земляных недр.

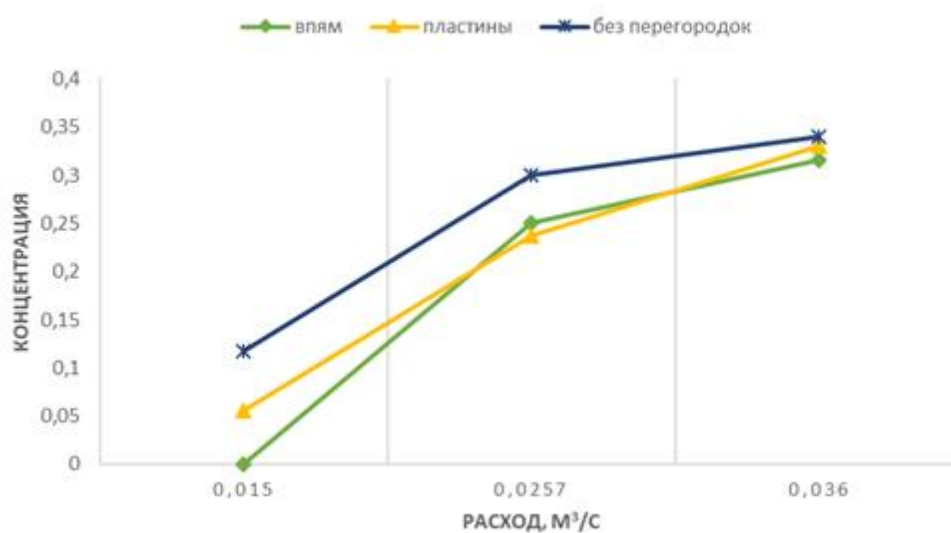
На сегодняшний день известны различные методы нефтедобычи, одним из наиболее распространенных является заводнение нефтяных пластов, что представляет собой закачку воды в пласт с целью увеличения пластового давления и последующего вытеснения нефти. Однако самым существенным недостатком данного метода является факт попадания в выкачиваемую нефть водяных включений, что приводит к ряду проблем с хранением, транспортировкой и переработкой нефти. Таким образом, вода является балластом, что приводит к увеличению эксплуатационных затрат. Именно поэтому критическая потребность в получении высококачественной нефти заставляет науку и технику постоянно совершенствоваться и модернизировать широко используемые методы разделения водонефтяных эмульсий, а также искать новые способы и пути к решению проблемы обезвоживания нефти.

В настоящее время активно идет апгрейд существующих способов разделения эмульсий и ведутся разработки средств проектирования и моделирования сепараторов, которые основаны на фундаментальных

гидродинамических и физико-химических законах и позволяют определить поле течения, распределение капель, зоны рециркуляции и прочее. Одним из таких средств является вычислительная гидродинамика (CFD), которая уже активно применяется при проектировании новых и улучшении производительности уже существующих устройств [2, 3].

В данной работе представлены экспериментальные исследования и численное моделирование разделения водо-нефтяной эмульсии для определения влияния формы пластин на характер течения водонефтяного потока, а так же проведен анализ зависимости концентрации от расхода эмульсии.

На рисунке представлен график зависимости содержания нефти в патрубке для выхода воды. Для получения эмульсии был использован ультразвуковой смеситель. Расход эмульсии регулировался при помощи емкости, оснащенной специальным зажимом, перекрывающим канал для подачи жидкости. Для каждого параметра проводились эксперименты, результаты которых осреднялись.



Зависимость концентрации нефти от расхода эмульсии в патрубке для выхода воды

При сравнении результатов экспериментальных исследований было выявлено, что наименьшей эффективностью разделения обладает сепаратор без перегородок. Сравнение результатов для пластинчатых перегородок и перегородок из высокопористых ячеистых материалов показало, что при меньших значениях расхода пористые перегородки работают значительно эффективнее, при увеличении расхода картина меняется и эффективность пластинчатых перегородок возрастает.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-01188.



## Источники

1. Grimes B.A. Population balance model for batch gravity separation of crude oil and water emulsions. Part I: Model formulation // Journal of Dispersion Science and Technology. 2012. Vol. 33, Is. 4. Pp. 578–590.

2. Three-phases separator sizing using drop size distribution / J.H. Song [et al.]. DOI: <https://doi.org/10.4043/20558-MS> // Proc. of the Annual Offshore Technology Conference. Houston, Texas, USA, 2010.

3. Abdulkadir M., Hernandez-Perez V. The effect of mixture velocity and droplet diameter on oil-water separator using computational fluid dynamics (cfd) // World Academy of Science, Engineering and Technology. 2010. Vol. 61. Pp. 35–43.

УДК 536.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ГРАНУЛИРОВАННОГО И ВЫСОКОПОРИСТОГО ЯЧЕЙСТОГО ФИЛЬТРА

О.В. Соловьева, Ю.Ф. Сабирова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>[solovyeva.ov@kgeu.ru](mailto:solovyeva.ov@kgeu.ru), <sup>2</sup>[julia.sabirova01@list.ru](mailto:julia.sabirova01@list.ru)

Произведен сравнительный расчет гранулированного и высокопористого ячейстого фильтров. Также созданы модели гранулированного фильтра с диаметром гранул 6 мм и набор моделей пористого фильтра с диаметром ячейки 6 мм. Осуществлен подбор параметров высокопористого ячейстого фильтра, построены модели фильтров, обеспечивающие равную эффективность осаждения частиц.

**Ключевые слова:** фильтр, диаметр ячейки, перепад давления, эффективность осаждения частиц, гранулированный фильтр.

Обширное распространение приобрели гранулированные фильтры, которые используют повсюду. На производствах гранулированные фильтры применяют с целью очищения горячих газов, что обуславливается химической или термической активностью очищаемых веществ [1]. Есть ряд разновидностей гранулированных фильтров, именно фильтры с подвижным, неподвижным, также псевдооживленным слоем. Наибольшее

распространение из числа гранулированных фильтров приобрели фильтры с неподвижным слоем. Подобный способ подразумевает, что сперва фильтруемая среда поступает в слой с крупными гранулами, который не способен уловить мелкие частицы, после которого следует слой с маленькими гранулами, уже способными хорошо отфильтровывать небольшие частицы [2, 3].

Высокопористые ячеистые фильтры представляют собой структуру, состоящую из взаимно пересекающихся ячеек, которые случайным образом распределены в объеме. По сравнению с гранулированными фильтрами в высокопористых можно изменять параметры как необходимо для конкретной задачи. Такие материалы используются в аэрокосмической деятельности и автомобилестроении, так как пористые структуры имеют крупный запас прочности по отношению к своему весу. Задачей данной работы было сравнить модели гранулированного и высокопористого ячеистого фильтра при одинаковых значениях геометрических и физических параметров.

За основу была взята модель гранулированного фильтра с диаметром гранул 6 мм, пористость которой составляет 0,44. В набор моделей высокопористых ячеистых фильтров входят модели с одинаковой пористостью среды, перепадом давления и эффективностью осаждения частиц. Модели фильтров, которые используются для численных расчетов, представляют собой трубки с пористой вставкой.

Проведя гидродинамический расчет в программном комплексе ANSYS Fluent, можно сказать, что при одинаковой пористости среды кривая изменения эффективности осаждения в зависимости от диаметра частиц будет выше в случае высокопористого ячеистого материала (рис. 1), однако для слабоинерционных частиц она оказывается ниже кривой гранулированного фильтра (рис. 2). Пористость ячеистого фильтра в этом случае составила 0.7, тогда как гранулированный фильтр имеет фиксированную пористость равную 0.44, значения перепада давления в этом случае для обоих фильтров будет равным 140 Па. Эмпирическим методом была получена пористая структура со значением эффективности осаждения частиц равным значению эффективности гранулированного фильтра (рис. 3). Параметр пористости высокопористого ячеистого материала для этого случая составил 0.8, а перепад давления равен 50 Па.

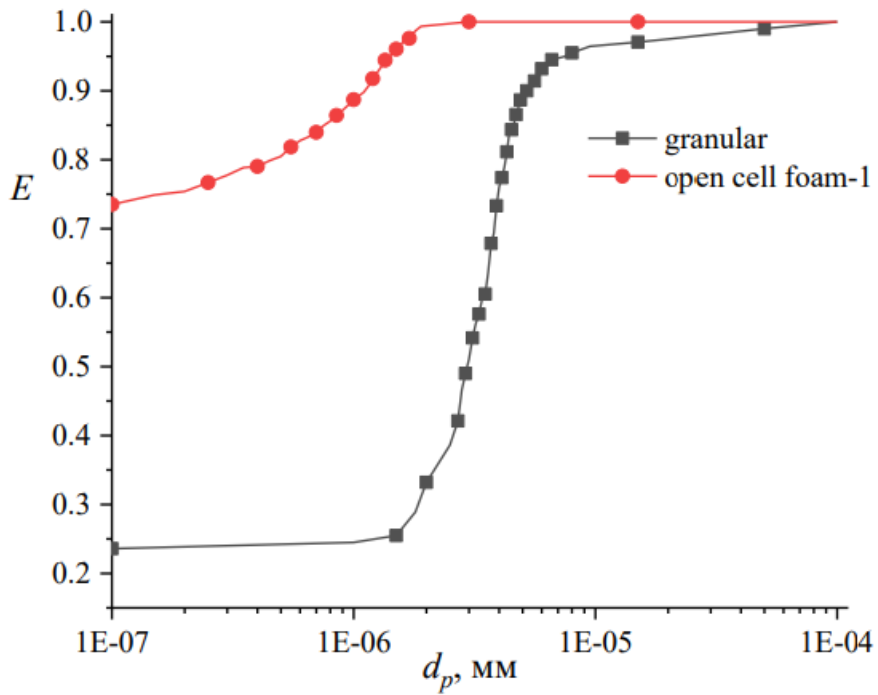


Рис. 1. Эффективность осаждения частиц высокопористого ячеистого и гранулированного фильтров при равной пористости среды  $\varepsilon = 0.44$

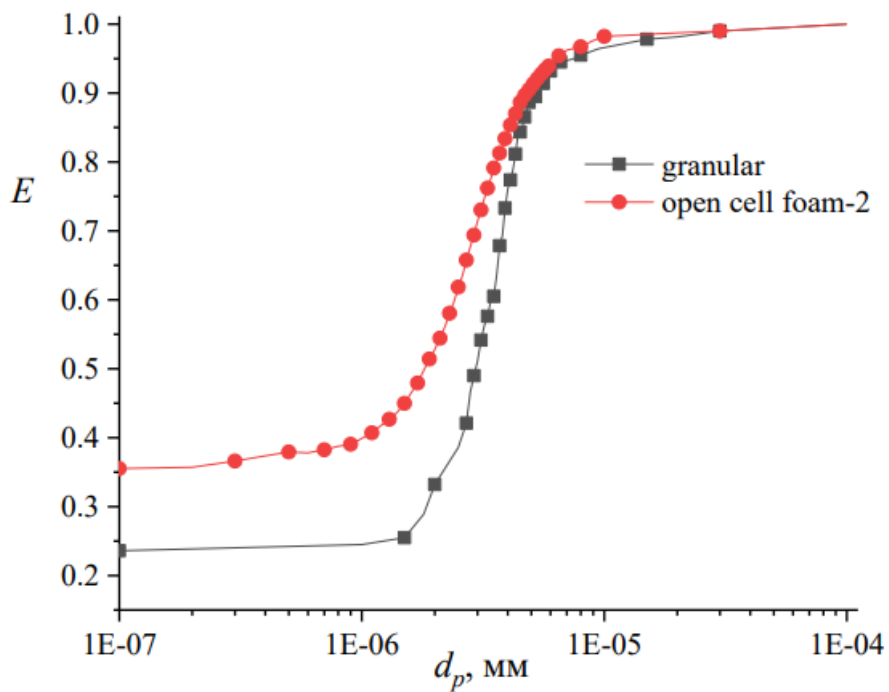


Рис. 2. Эффективность осаждения частиц высокопористого ячеистого и гранулированного фильтров при равном значении перепада давления  $\Delta p = 140$  Па

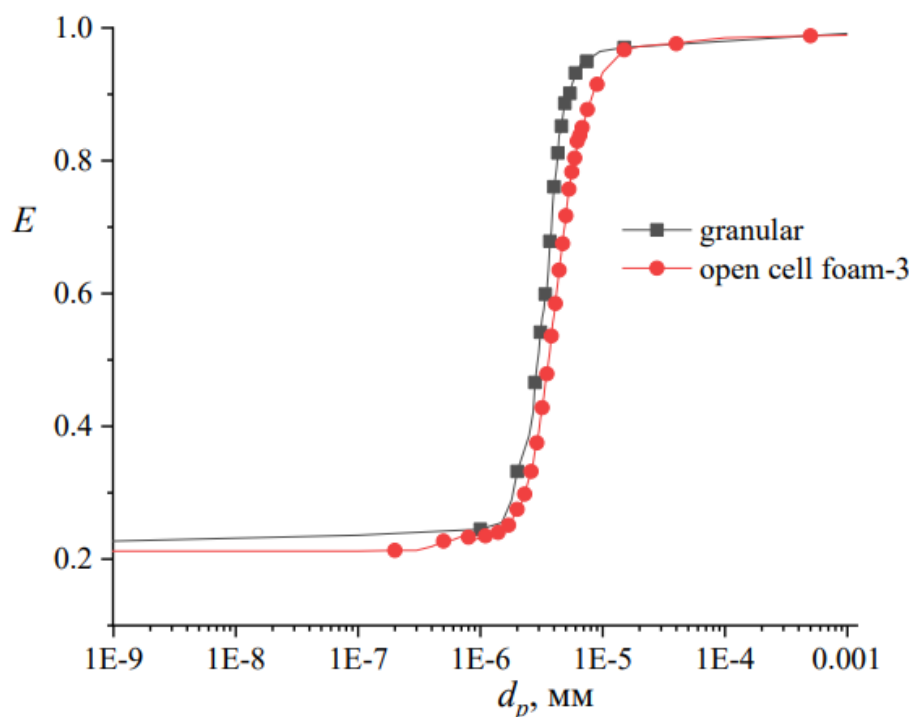


Рис. 3. Наиболее близкая эффективность осаждения частиц моделей гранулированного и высокопористого ячеистого фильтров

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что пористая структура, которая обеспечивает перепад давления одинаковым с перепадом давления гранулированного фильтра, обладает эффективностью осаждения частиц выше для случая слабоинерционных частиц, чем у гранулированного фильтра. При этом эффективности осаждения частиц для обоих конструктивных исполнений близки для инерционных частиц. Сравнить фильтры по значению перепада давления является наиболее верным, нежели по значению пористости среды. Таким образом можно прийти к выводу, что стоит отдать предпочтение использованию высокопористых ячеистых фильтров при равных физических параметрах.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-71-00100).

### Источники

1. Richardson J.T., Peng Y., Remue D. Properties of ceramic foam catalyst supports: pressure drop // Applied Catalysis A: General. 2000. Vol. 204, Is. 1. Pp. 19–32.

2. Characterization of an open-pored nickel foam with respect to aerosol filtration efficiency by means of measurement and simulation / A. Hellmann [et al.] // Aerosol Science and Technology. 2015. Vol. 49, Is. 1. Pp. 16–23.

3. Wake D., Brown R.C. Filtration of monodisperse aerosols and polydisperse dusts by porous foam filters // Journal of aerosol science. 1991. Vol. 22, Is. 6. Pp. 693–706.

УДК 621.928.953

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ МНОГОСЛОЙНОГО ВЫСОКОПОРИСТОГО ЯЧЕИСТОГО ФИЛЬТРА

О.В. Соловьева<sup>1</sup>, А.Р. Талипова<sup>2</sup>, Л.А. Белоусова<sup>3</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>solovyeva.ov@kgeu.ru, <sup>2</sup>talipovaazaliya@mail.ru, <sup>3</sup>andreevna\_la@mail.ru

Исследовано влияние особенностей внутренней структуры высокопористого ячеистого материала на эффективность осаждения частиц и сопротивление среды. Модели высокопористых ячеистых фильтров создавались на основе Direct Element Method. Расчеты поля течения и траекторий частиц проводились в программном комплексе ANSYS Fluent (v. 19.0). Экспериментальные исследования проводились с использованием образцов, созданных посредством 3D печати. Представлены результаты численного моделирования и экспериментального исследования моделей различной геометрии с фиксированной пористостью среды 0,6.

**Ключевые слова:** модель, многослойный высокопористый ячеистый фильтр, эффективность осаждения частиц, диаметр ячеек.

### Введение

В современном обществе химическая, металлургическая, пищевая, энергетическая и другие области промышленно-хозяйственной деятельности постоянно выбрасывают в атмосферу большое количество пыли и частиц, которые приводят к серьезному загрязнению воздуха и оказывают пагубное воздействие на здоровье человека [1–3]. Ячеистые материалы обладают высокой пористостью, низкой плотностью, большой удельной поверхностью, поэтому перспективно их использование в качестве фильтров [4]. Высокая пористость ячеистых материалов приводит к снижению перепада давления, что важно для сохранения мощности систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха [5].

## Постановка задачи

Расчетная модель создается несколькими слоями высокопористого ячеистого материала с изменением диаметров ячеек:  $d_c = 4$  мм,  $d_c = 5$  мм и  $d_c = 6$  мм. Данная геометрия является моделью многослойного фильтра и направлена на уменьшение общего сопротивления фильтра, осаждение крупных частиц в первом слое и осаждение мелких частиц в последующих слоях. На рис. 1 показано сечение трубки с ячейками, изменяющимися по слоям.

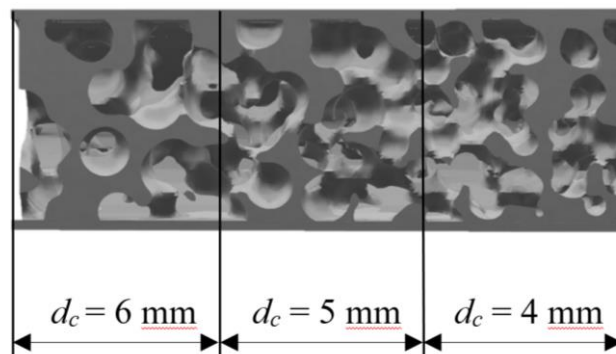


Рис. 1. Геометрия пористой среды – центральное сечение модели с изменяющимся по слоям размером ячеек

Для расчета движения аэрозоля в пористой среде используется внутренний объем геометрии, поскольку поток возникает в пространстве между порами. Среднее количество элементов сетки составляет 20 млн, что гарантирует точность расчетов.

Гидродинамический расчет основан на решении уравнения Навье-Стокса в программном обеспечении ANSYS Fluent CFD с использованием метода конечных объемов.

## Результаты численного моделирования и экспериментальных данных

На рис. 2 изображены кривые изменения эффективности осаждения частиц для четырех вариантов геометрии при фиксированной пористости среды  $\varepsilon = 0,6$  и разных диаметрах ячеек. Первые три модели имеют постоянное значение диаметра ячеек ( $d_c = 6$  мм,  $d_c = 5$  мм и  $d_c = 4$  мм), диаметры ячеек четвертой модели изменяются по слоям в том же диапазоне. Модель многослойного высокопористого ячеистого фильтра с переменным диаметром ячейки в слоях при сохранении низкой

пористости среды и высокой извилистости порового пространства обеспечивает наибольшую эффективность осаждения при малых диаметрах частиц, что объясняется особенностью гидродинамики потока воздуха при пониженном сопротивлении на первых двух слоях. Кривая эффективности осаждения с диаметрами ячеек, которые изменяются по слоям, накладывается на кривую эффективности для  $d_c = 5$  мм с увеличением диаметра частиц. Можно прийти к выводу, что для случая инерционных частиц определяющим параметром является средний диаметр пор.

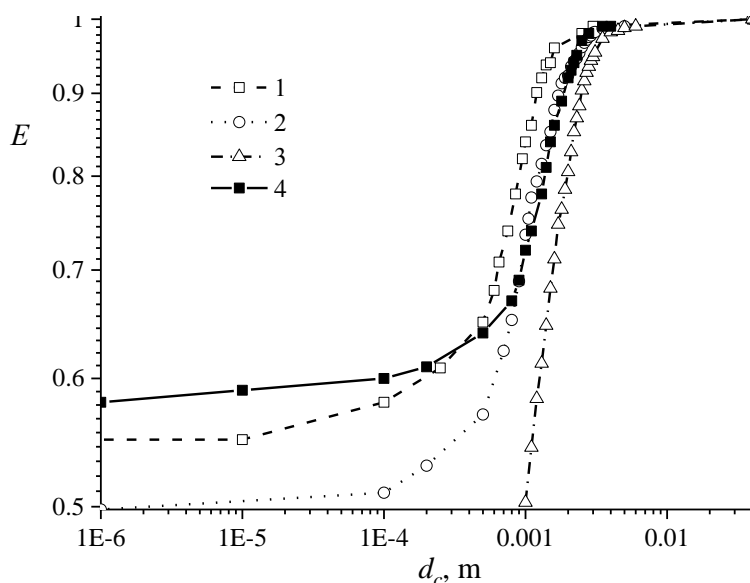


Рис. 2. Эффективность осаждения частиц для четырех случаев: 1 – геометрия с диаметром ячейки  $d_c = 4$  мм; 2 – геометрия с диаметром ячейки  $d_c = 5$  мм; 3 – геометрия с диаметром ячейки  $d_c = 6$  мм; 4 – геометрия с диаметрами ячеек  $d_c = 6$  мм,  $d_c = 5$  мм и  $d_c = 4$  мм, созданными по слоям

## Выводы

Проведены численное моделирование и экспериментальные исследования течения аэрозоля в трубках, содержащих пористую среду. Рассмотрено несколько вариантов моделей фильтров (с фиксированным значением диаметра ячейки и с изменением диаметра ячейки по слоям). Минимальный перепад давления наблюдается для геометрии многослойного фильтра с переменным изменением слоя, эффективность осаждения частиц при этом зависит от среднего размера ячеек для случая инерционных частиц. Прирост эффективности осаждения в модели многослойного фильтра наблюдается для слабоинерционных частиц.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что использование фильтра с изменяемым размером пор по слоям целесообразно для случая слабоинерционных частиц.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-71-00100).

### **Источники**

1. Hamanaka R.B., Mutlu G.M. Particulate matter air pollution: effects on the cardiovascular system. DOI: <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00680> // *Frontiers in endocrinology*. 2018. Vol. 9.
2. A review of air filtration technologies for sustainable and healthy building ventilation / G. Liu [et al.] // *Sustainable cities and society*. 2017. Vol. 32. Pp. 375–396.
3. Electrospun nanofibers membranes for effective air filtration / M. Zhu [et al.]. DOI: <https://doi.org/10.1002/mame.201600353> // *Macromolecular Materials and Engineering*. 2017. Vol. 302, Is. 1.
4. Nie Z., Lin Y., Tong Q. Numerical investigation of pressure drop and heat transfer through open cell foams with 3D Laguerre-Voronoi model // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2017. Vol. 113. Pp. 819–839.
5. Financial implications of modifications to building filtration systems / J.F. Montgomery [et al.] // *Building and Environment*. 2015. Vol. 85. Pp. 17–28.

УДК 621.928.953

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ДЛИНЫ ПОРИСТОГО ФИЛЬТРА**

О.В. Соловьева<sup>1</sup>, А.Р. Талипова<sup>2</sup>, Л.А. Белоусова<sup>3</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>[solovyeva.ov@kgeu.ru](mailto:solovyeva.ov@kgeu.ru), <sup>2</sup>[talipovaazaliya@mail.ru](mailto:talipovaazaliya@mail.ru), <sup>3</sup>[andreevna\\_la@mail.ru](mailto:andreevna_la@mail.ru)

Работа посвящена определению эффективной длины пористого фильтра. Исследование проводили на специально созданных моделях пористых структур длиной 200 мм с диаметрами ячеек 6 мм и 4 мм, пористостью 0,7. Результаты фиксировали посредством усечения с шагом 10 мм. Сравнение проводили



по эффективности, перепаду давления и коэффициенту качества фильтра. При длине фильтрующей среды 90 мм для случая с 6 мм диаметром ячейки и 70 мм для случая 4 мм диаметром ячейки, эффективность осаждения частиц и коэффициент качества фильтра не изменяются, данный диапазон длин можно считать эффективными длинами моделей фильтров.

**Ключевые слова:** пористый фильтр, осаждение частиц, перепад давления, эффективная длина.

## Введение

Проблема защиты окружающей среды – одна из самых актуальных в настоящее время [1]. Пористые материалы с микроскопической структурой, такие как пена, губки, ткани легких обладают особыми характеристиками, которые отличаются от характеристик твердых материалов [2]. Пористый керамический фильтрующий материал является наиболее эффективным фильтрующим материалом в комбинированном цикле интегрированной газификации [3]. Три различных структурных типа олеофобных фильтрующих материалов (волокнистый, трикотажный и пенопласт с открытыми порами) с эквивалентной чистой фильтрационной эффективностью и перепадом давления были численно исследованы в широком диапазоне входных скоростей (0,05–2 м/с). Численные результаты показывают баланс между сопротивлением потоку и падением давления фильтрующего материала при увеличении скорости [4, 5].

## Постановка проблемы

Основными функциями созданных моделей фильтров являются сопротивление, эффективность осаждения частиц и параметр качества фильтра. Отношение эффективности осаждения частиц к перепаду давления представляет собой параметр качества фильтрующего материала. Для проведения численного моделирования были созданы 3 модели пористых фильтров длиной 200 мм, диаметром 20 мм и пористостью 0,7. Модели создавались путем усечения части длины, начиная от 110 мм и заканчивая 20 мм с шагом 10 мм (рис. 1). Также со стороны входа и выхода каждой модели присоединялись патрубки длиной 10 мм и 30 мм соответственно. Задачей исследования являлось определение такой длины фильтра, при которой значение эффективности осаждения не изменяется или изменяется незначительно по сравнению с фильтром большей длины.

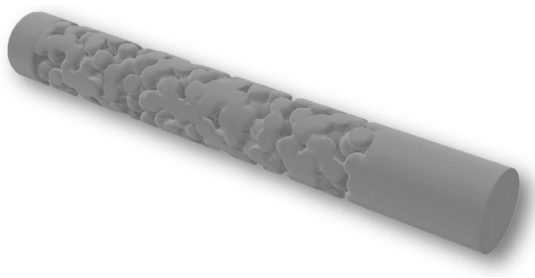


Рис. 1. Модель пористого фильтра длиной 110 мм с патрубками

### Расчет эффективности осаждения частиц и коэффициента качества фильтра

Зависимость эффективности осаждения от диаметра частиц при различных длинах в моделях фильтра представлена на рис. 2. Таким образом, эффективность осаждения изменяется несущественно при длине фильтрующей среды 90 мм, дальнейшее увеличение длины будет приводить к росту перепада давления и уменьшению коэффициента качества фильтра.

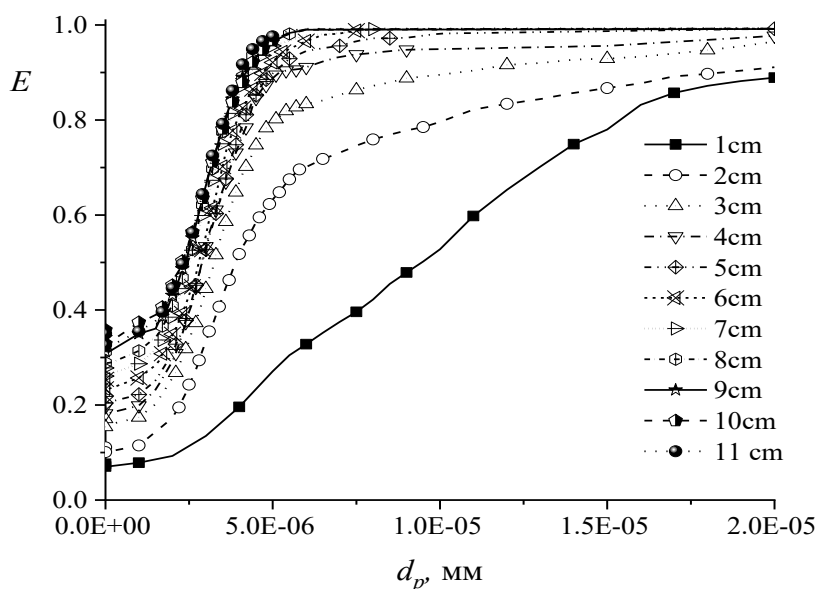


Рис. 2. Зависимость эффективности от диаметра частиц

Для полной оценки фильтра требуется рассчитать параметр коэффициента качества фильтра, объединяющий в себе перепад давления и эффективность осаждения частиц. Из рис. 3. видно, что коэффициент качества остается неизменным. Это обусловлено тем, что рост эффективности осаждения компенсируется ростом перепада давления.

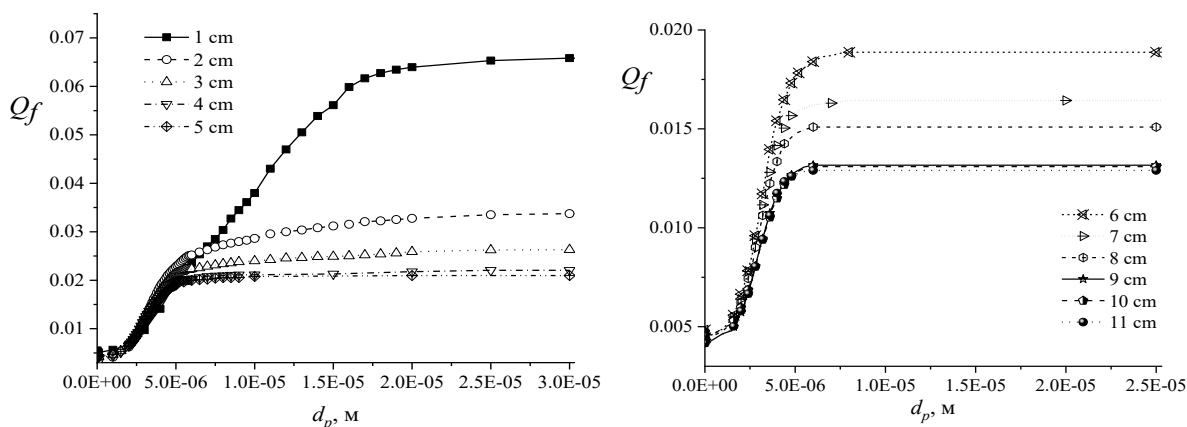


Рис. 3. Изменение коэффициента качества от диаметра частиц для длин пористой вставки: *a* – 1, 2, 3, 4 и 5 см; *б* – 6, 7, 8, 9, 10 и 11 см

### Выводы

Эффективной длиной пористого фильтра является длина равная 90 мм. Для фильтрации частиц размером не менее 10 мкм достаточно использовать фильтр длиной 20 мм.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-71-00100).

### Источники

1. Efficiency of using porous network material as a filter material in shutter filters / O.I. Polivaev [et al.]. DOI: doi:10.1088/1757-899X/632/1/012027 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 632, Is. 1.
2. Nanoarchitectonics for mesoporous materials / K. Ariga [et al.] // Bulletin of the Chemical Society of Japan. 2011. Vol. 85, Is. 1. Pp. 1–32.
3. Modulation power of porous materials and usage as ripple filter in particle therapy / T.P. Ringbæk [et al.]. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1361-6560/aa5c28> // Physics in Medicine & Biology. 2017. Vol. 62, Is. 7.
4. Fabrication of porous filter material for the integrated gasification combined cycle / Y. Ding [et al.]. DOI: doi:10.1088/1742-6596/1681/1/012001 // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1681.
5. Optimisation of wet pressure drop in nonwoven fibrous, knitted, and open-cell foam filters / V. Golkarfard [et al.] // Separation and Purification Technology. 2019. Vol. 213. Pp. 45–55.
6. Kirsh A.A., Kirsh V.A. Aerosol particle collection by filters composed of fibers coated with porous permeable shells // Colloid Journal. 2019. Vol. 81, Is. 5. Pp. 515–526.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДВУХ ВИДОВ ФИЛЬТРА ПРИ РАВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ

О.В. Соловьева<sup>1</sup>, А.Р. Талипова<sup>2</sup>, Л.А. Белоусова<sup>3</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>solovyeva.ov@kgeu.ru, <sup>2</sup>talipovaazaliya@mail.ru, <sup>3</sup>andreevna\_la@mail.ru

Проведен сравнительный анализ гранулированного и высокопористого ячеистого фильтра при равных геометрических и физических параметрах. В качестве начальной модели была выбрана модель гранулированного фильтра, далее создавались пористые фильтры, совпадающие по одному из следующих параметров: пористость, значение перепада давления, эффективность осаждения частиц. Размер ячейки высокопористого материала принимался равным размеру гранулы. Расчеты проводились с помощью программного комплекса ANSYS Fluent (v. 19.2) методом конечных объемов на основе решения уравнений Навье-Стокса.

**Ключевые слова:** гранулированный фильтр, высокопористый ячеистый материал, пористость, перепад давления, эффективность осаждения частиц.

### Введение

Гранулированные фильтры – один из наиболее многообещающих методов очистки горячего газа в угольных энергосистемах. Оптимальный двухслойный гранулированный фильтр имеет более высокую эффективность фильтрации в отличие от однослойного фильтра за счет низкого перепада давления. Удерживающая способность гранулированных фильтров контролируется узкими сужениями, соединяющими пустоты внутри фильтра [1, 2]. Малая стоимость производства и устойчивость гранул к различным химическим и термическим воздействиям делает гранулированные фильтры наиболее выгодными.

Заменой гранулированных фильтров могут стать высокопористые материалы. Высокопористый ячеистый материал (ВПЯМ) представляет собой структуру, состоящую из полых пересекающихся сфер (ячеек). Геометрическими параметрами в таких структурах являются диаметр ячейки и расстояние между ними. ВПЯМ имеют большие возможности к изменениям, так как для каждой ситуации можно создать фильтр с необходимыми параметрами [3].

## Постановка задачи

Параметры технологического цикла влияют на работу фильтра. Так как пористость гранулированного фильтра сохраняется при изменении диаметров гранул, были созданы пористые фильтры, совпадающие по одному из таких параметров, как пористость, перепад давления и эффективность осаждения частиц, при этом размер ячейки был равен размеру гранулы. Параметры созданных моделей представлены в таблице. Исследования проводились методом численного моделирования на трубках диаметром 40 мм, содержащих вставку из пористого материала размером 40 мм. Длина пористой вставки равнялась длине входного и выходного патрубка. Для исключения ошибок проводилось усреднение расчетов для 5 моделей, так как пористые структуры формируются с помощью случайной генерации ячеек в пространстве.

### Параметры созданных моделей

Фильтр	$d_c$ , мм	$\varepsilon$	$\Delta p$ , Па
Гранулированный	6	0,44	140
Высокопористый ячеистый – 1 ( $\varepsilon_{\text{гран}} = \varepsilon_{\text{ВПЯМ}}$ )	6	0,44	4 574
Высокопористый ячеистый – 2 ( $\Delta p_{\text{гран}} = \Delta p_{\text{ВПЯМ}}$ )	6	0,7	140
Высокопористый ячеистый – 3 ( $E_{\text{гран}} = E_{\text{ВПЯМ}}$ )	6	0,8	50

### Результаты расчетов

Расчеты проводились с помощью программного комплекса ANSYS Fluent (v. 19.2) методом конечных объемов на основе решения уравнений Навье-Стокса. Результаты расчета эффективности осаждения частиц показаны на рис. 1. По графикам видно, что для случая ВПЯМ при равной пористости среды значение эффективности осаждения намного выше, чем для случая гранулированного фильтра.

Важной характеристикой при выборе фильтра является коэффициент его качества, который представляет собой отношение значения эффективности осаждения частиц к значению перепада давления. Для модели высокопористого ячеистого материала равной пористость среды ВПЯМ имеет большой перепад давления, строить график для него нецелесообразно. На рис. 2 представлены кривые изменения коэффициента качества от диаметра частиц для трех моделей фильтров.

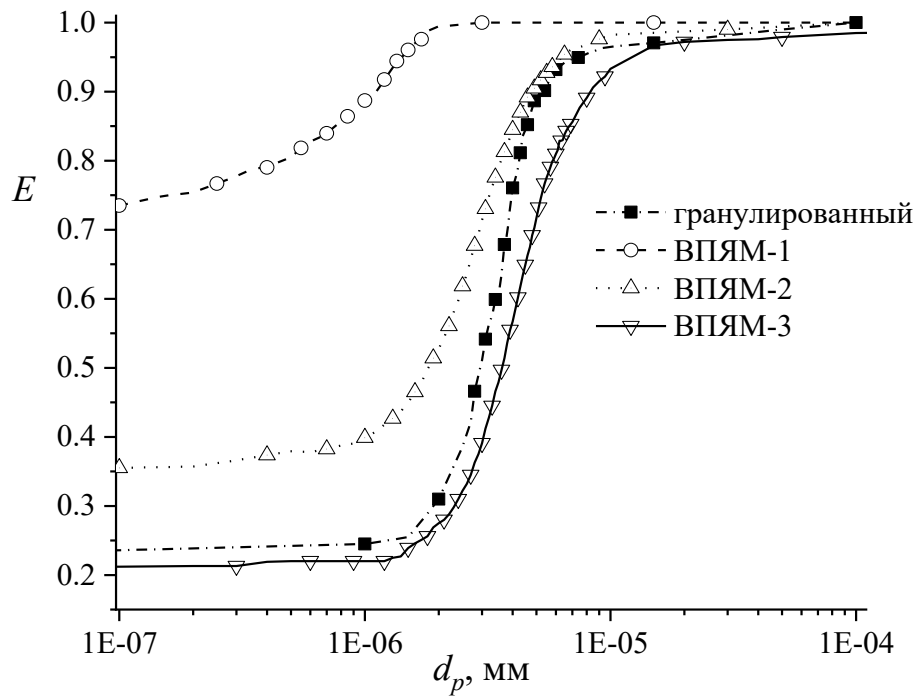


Рис. 1. Изменение эффективности осаждения для разных моделей фильтров

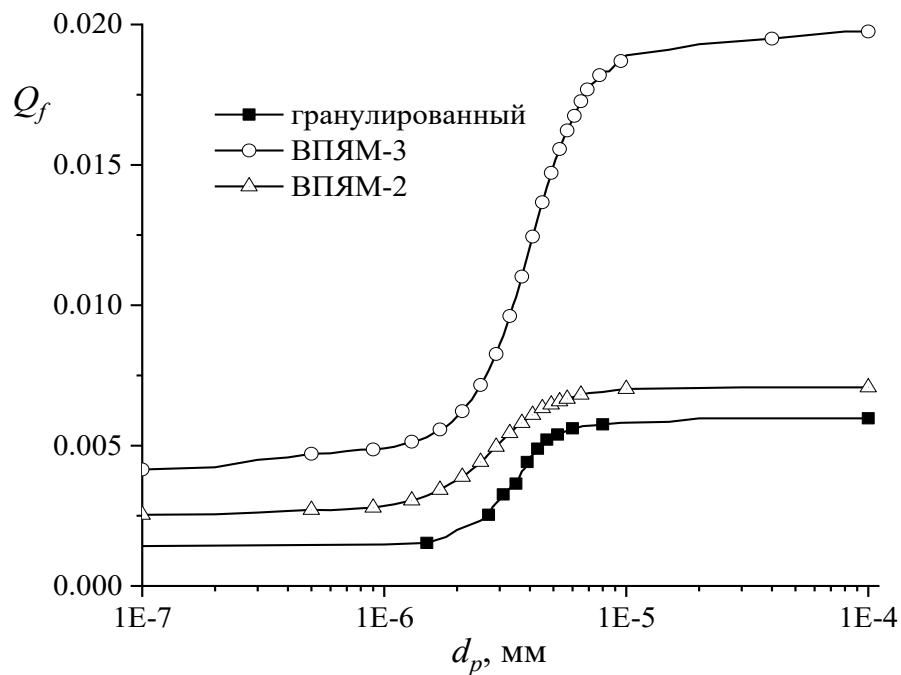


Рис. 2. Зависимость коэффициента качества фильтра от диаметра частиц

На рис. 2 можно увидеть, что модель ВПЯМ в обоих случаях проявляет себя лучше, но модель фильтра с эффективным осаждением частиц, совпадающая с эффективностью гранулированного фильтра является предпочтительнее.

## Выводы

1. Модель высокопористого ячеистого фильтра, которая обеспечивает значение перепада давления равное значению перепада давления в гранулированном фильтре, имеет эффективность осаждения выше для случая слабоинерционных частиц.

2. При сравнении ВПЯМ по коэффициенту качества с эффективностью осаждения равной гранулированному проявляет себя лучше.

3. Сравнить фильтры различного типа по значению перепада давления более корректно, чем по значению пористости среды.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-71-00100).

## Источники

1. Multi-objective optimization of a dual-layer granular filter for hot gas clean-up by using genetic algorithm / F.L. Wang [et al.] // Applied Energy. 2019. Vol. 248. Pp. 463–474.

2. Effect of filter layer thickness on the filtration characteristics of dual layer granular beds / Gui-Hui Xiao [et al.] // Powder Technology. 2018. Vol. 335. Pp. 344–353.

3. Gu D., Schüth F. Synthesis of non-siliceous mesoporous oxides // Chemical Society Reviews. 2014. Vol. 43, Is. 1. Pp. 313–344.

УДК 621.3.048

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

А.Р. Фасыхов<sup>1</sup>, А.В. Крахмалец<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>fara.388@mail.ru, <sup>2</sup>mr.dominikanov@mail.ru

Науч. рук. Л.Р. Гайнуллина

Проведен анализ методов диагностики трансформаторных масел с выявлением их недостатков и перспективного направления.

**Ключевые слова:** трансформаторное масло, методы диагностики, эксплуатационные показатели.

От физических характеристик трансформаторного масла зависит надежность функционирования маслонаполненного электрооборудования, в частности, трансформаторов. Отказ трансформатора приводит к нарушению работы целой энергетической системы предприятия. Наибольшая доля отказов трансформаторов связана с изменением свойств материалов, их окислением и старением – 21,6 %.

Электрические и физические показатели трансформаторного масла по истечению некоторого времени перестают отвечать действующим нормам. В процессе эксплуатации при высоких температурах происходит разложение органических соединений масла с образованием кислых соединений, воды, газов, механических частиц. Эти продукты старения, а также продукты их взаимодействия друг с другом (вторичные компоненты) существенно ускоряют процесс износа оборудования. Если для новых трансформаторов система мониторинга служит для выявления дефектов на ранних стадиях, то для трансформаторов с низким индексом технического состояния непрерывный мониторинг является необходимостью с целью предотвращения аварийной ситуации.

Современные методы исследования трансформаторных масел выявляют даже небольшие отклонения эксплуатационных показателей. В отношении свежего масла или только что залитого в оборудование после регенерации, проводимые анализы делятся на три вида: испытание на электрическую прочность, сокращенный анализ, испытания в объеме полного анализа [1, 2].

Электрические показатели трансформаторного масла – пробивное напряжение, диэлектрические потери – изменяются в процессе эксплуатации масла. На эти показатели основное влияние оказывает наличие воды и механических примесей.

Для определения пробивного напряжения трансформаторного масла необходимо применение маслопробойника с классом точности 1,0. Перед испытанием проба масла отстаивается в течение двух часов. Затем после заливки масла испытание проводят лишь через 10 минут, а затем с пятиминутным интервалом производят 6 замеров.

Качественное определение влагосодержания в масле производят путем нагрева масла до 130 °С. Наличие влаги считается установленным, если при вспенивании или без него не менее двух раз слышен треск. Количественная оценка растворенной воды основана на взаимодействии с ней гидроксида кальция. Следует отметить, что гидрид-кальциевый метод определения



влажностного содержания не позволяет получить достаточно хорошо воспроизводимые результаты и, кроме того, на выполнение анализа затрачивается много времени.

Сокращенный анализ, помимо пробивного напряжения, определения наличия воды и механических примесей, дополнительно включает определение кислотного числа, содержание водорастворимых кислот, температуры вспышки и цвета масла. Полный анализ включает все испытания сокращенного анализа с учетом определения тангенса угла диэлектрических потерь, натровой пробы, стабильности против окисления и количественного определения влажностного содержания и механических примесей [1, 2].

Каждый из физико-химических показателей трансформаторного масла определяется по своему ГОСТ и, соответственно, на своем оборудовании.

Температура вспышки трансформаторного масла определяется по ГОСТ 6356–75 «Нефтепродукты. Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле». При нормальной работе трансформатора температура вспышки постепенно возрастает из-за испарения легких фракций масла. При развитии дефекта в трансформаторе температура вспышки масла резко падает из-за растворения в масле газов, образующихся при его термическом разложении в месте дефекта. Снижение температуры вспышки более чем на 5 °С по сравнению с предыдущим определением указывает на наличие дефекта, и в этом случае требуется комплексное обследование трансформатора для выявления причины этого снижения.

Наличие кислот в масле опасно повреждением изоляции обмоток трансформатора. Кислотное число определяется по ГОСТ 5985-79 «Нефтепродукты. Метод определения кислотности и кислотного числа», оно показывает количество гидроксида калия, необходимого для удаления следов кислоты в 1 г продукта. Определение кислотного числа также является достаточно трудоемким, метод требует отбора проб из отключенного оборудования.

Известны также методы спектрального анализа диагностики трансформаторного масла, позволяющие определять химический состав веществ через анализ их спектров излучения, поглощения, отражения или люминесценции, требующие однако использование минилабораторий с ИК- и элементными анализаторами [3].

Большинство анализов представляют собой достаточно длительную, кропотливую процедуру, часто дорогостоящую. Для забора проб необходимо отключать трансформатор, что не позволяет вести непрерывный мониторинг.

В настоящее время разрабатываются и внедряются системы непрерывного мониторинга, позволяющие получать информацию об изменении состояния трансформаторного масла и, соответственно, маслонаполненном оборудовании. Так, на российском рынке появился онлайн-хроматограф для оценки состояния трансформатора по восьми опасным газам, растворенных в трансформаторном масле. Такой хроматограф не требует отключения оборудования для отбора проб и позволяет вести мониторинг непрерывно в процессе эксплуатации трансформатора [4].

Перспективным направлением диагностики трансформаторного масла является разработка методов с полной количественной и качественной оценкой, позволяющей обеспечить непрерывный контроль эксплуатационных показателей без отключения электрооборудования для забора проб и с дистанционной передачей сигнала (информации о результатах замера).

Таким образом, разработка методов, позволяющих вести непрерывный дистанционный мониторинг ключевых эксплуатационных показателей трансформаторного масла является одной из главных задач повышения надежности эксплуатации маслонаполненного электрооборудования.

### **Источники**

1. РД 34.43.105-89. Методические указания по эксплуатации трансформаторных масел [Электронный ресурс]: URL: <http://gostrf.com/normadata/1/4294844/4294844655.htm> (дата обращения: 25.02.2021).
2. «Анализ трансформаторного масла: основные методы испытаний» [Электронный ресурс]. URL: <https://oils.globecore.ru/analiz-transformatornogo-masla.html> (дата обращения: 25.02.2021).
3. Основы анализа трансформаторного масла спектральным методом / В.К. Козлов [и др.] // Электрические станции. 2020. № 8 (1069). С. 38–42.
4. «Хроматографический анализ растворенных газов» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bo-energo.ru/equipment/dlya-silovykh-transformatorov/analiz-rastvorenykh-gazov-v-rezhime-onlayn/> (дата обращения: 25.02.2021).

## МАГНИТНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

С.С. Филимонов  
 ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
 serfv43@gmail.com  
 Науч. рук. В.Л. Матухин

В настоящее время ведётся активный поиск новых материалов для термоэлектрических преобразователей энергии, выполнена оценка перспектив магнитных полупроводников для использования их в создании термоэлектрических преобразователей энергии.

**Ключевые слова:** Эффект Зеебека, термо-ЭДС, замкнутая электрическая цепь, изменение температуры, магнитные полупроводники, разность температуры, ферромагнетики, полупроводник.

На данный момент во многих исследовательских институтах идут эксперименты по разработке новых полупроводников, которые будут пригодны для термоэлектрических преобразователей энергии (ТПЭ). ТПЭ – устройства, применяемые в промышленности, научных исследованиях, медицине, в системах автоматики. Принцип работы термоэлектрических преобразователей энергии основан на эффекте Зеебека, данное явление состоит в том, что в электрической цепи, составленной из разных проводников ( $M_1$  и  $M_2$ ), возникает термо-ЭДС, если места контактов ( $A$ ,  $B$ ) поддерживаются при различных температурах. Если цепь замкнута, то в ней течет электрический ток (термоток), причем изменение знака у разности температур спаев сопровождается изменением направления термотока [1].

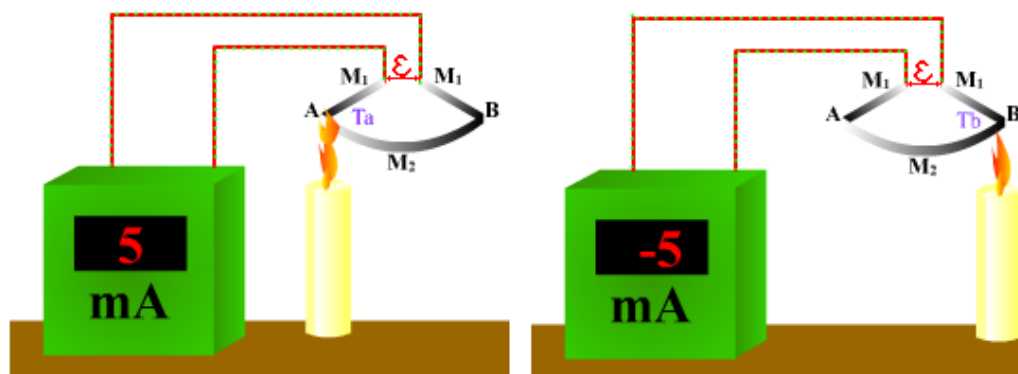


Рис. 1. Электрическая цепь и изменение направления термотока

Известно, что важнейшим параметром, определяющим свойства материала, является безразмерное значение его термоэлектрической добротности:

$$ZT = \sigma S^2 T / k,$$

где  $\sigma$  – удельная электропроводность;  $S$  – коэффициент Зеебека;  $T$  – рабочая температура;  $k$  – полная теплопроводность.

В данной работе приводятся результаты исследований в природных образцах магнитных полупроводниковых минералов халькопирита из Талнахского и Сибайского месторождений, где они являются главными добываемыми рудными минералами. Исследуемые образцы были в виде поликристаллических порошков с размером зерен более 0,2 мм [2].

В качестве эффективных термоэлектриков, были выбраны магнитные полупроводники. Одним из представителей этого класса соединений является известный полупроводниковый минерал халькопирит  $\text{CuFeS}_2$ .

Кристаллическую структуру халькопирита представляют в виде чередующихся металлических слоев, разделенных слоями атомов серы. Установлено что, халькопирит имеет большой коэффициент Зеебека ( $500 \mu\text{V/K}$ , при температуре 300 К) [3, 4].

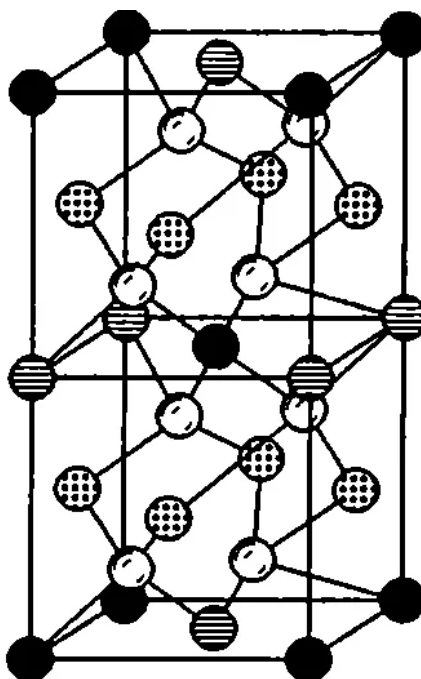


Рис. 3. Кристаллическая структура халькопирита  $\text{CuFeS}_2$

## Источники

1. Кухлинг Х. Справочник по физике. М.: Мир, 1982. С. 374–375.
2. Magnetic Resonance and Its Applications / V.I. Chizhik [et al.]. Springer, 2014. 782 p.
3. Mori T. Novel Materials and Processes to Develop Viable Thermoelectrics. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1052/1/012001> // Journal of Physics: Conf. Series. 2018. Vol. 1052.
4. Исследования полупроводникового минерала  $\text{CuFeS}_2$  из гидротермальных отложений океанского рифта методом ЯМР Cu в локальном поле / В.Л. Матухин [и др.] // Физика и техника полупроводников. 2017. Т. 51, № 1. С. 8–11.

## Секция 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

УДК 621-313.3

### РАЗРАБОТКА УЧЕБНОГО МАКЕТА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

А.М. Абдрахманов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
abdrakhmanov100@mail.ru  
Науч. рук. А.Н. Богданов

Описана актуальность применения разрабатываемого макета ветроэнергетической установки. Выделены основные параметры, определяющие выбор ветроэнергетической установки и отраженные в учебном макете. Представлен состав разрабатываемого макета ветроэнергетической установки.

**Ключевые слова:** ветроэнергетическая установка, учебный макет.

На сегодняшний день запасы не возобновляемых сырьевых ресурсов стремительно исчерпываются. Чем активнее люди пользуются ими, тем быстрее уменьшается их количество. К тому же их использование в некоторых случаях приводит к загрязнению атмосферы. Во всем мире принимается всё больше законов о защите природы и контроле энергоресурсов. Актуальность использования возобновляемых источников энергии будет только увеличиваться со временем.

Технически развитые страны уделяют большое внимание альтернативным источникам энергии. Например, доля ветроэнергетики в общем количестве вырабатываемой энергии в таких странах постоянно увеличивается. В России с этим есть проблемы. Возможность резкого увеличения ветроэнергетических мощностей в стране зависит от государственной поддержки использования возобновляемых источников энергии и введения льгот для производителей и потребителей техники, реализующих использование возобновляемых источников энергии [1]. Очень важную роль в развитии ветроэнергетики России может сыграть привлечение специалистов в эту отрасль. Поэтому важным является подготовка специалистов, способных разрабатывать, внедрять и обслуживать подобные системы.

Всё больше стран устанавливают у себя ветряные электростанции, используя самые последние разработки. Хорошим примером новых разработок являются плавающие и парящие ветровые установки. Плавающие ветровые генераторы устанавливаются далеко от берега. Из-за постоянных морских ветров КПД таких установок выше, чем у установленных на земной поверхности. Парящие ветровые генераторы представляют собой надувную гелиевую сферу с турбиной по центру. Чем они выше, тем больше скорость ветра, а значит такие установки используют максимальную силу ветра. Конструкторы и разработчики не останавливаются, придумывают новые модели ветроустановок, чтобы приблизить их к максимально эффективным показателям.

Существует много моделей ветряных генераторов: от маленьких для частного пользования до больших промышленных [2–5]. На просторах всемирной сети можно найти достаточное количество примеров, как собрать свою ветроустановку для частного дома. Прежде чем собирать такую установку надо четко понимать для чего она нужна.

Можно выделить три основных параметра, которые определяют работу ветроэнергетической установки:

1. Выходная мощность (кВт). Определяется мощностью преобразователя (инвертора) и не зависит от скорости ветра и емкости аккумуляторов. Также её называют «пиковой нагрузкой». Этот параметр определяет максимальное количество электроприборов, которые могут быть одновременно подключены к ветроэнергетической установке.

2. Время непрерывной работы при отсутствии или при слабом ветре. Определяется емкостью аккумуляторных батарей (Ач или кВт) и зависит от мощности и длительности потребления.

3. Скорость заряда аккумуляторных батарей (кВт/ч). Зависит от мощности самого генератора. Этот показатель прямо зависит от скорости ветра, а косвенно от высоты мачты и рельефа местности.

Чтобы собрать свой ветрогенератор необходимо определить скорость ветра в месте будущего расположения ветряного генератора. Необходимо выбирать местность с хорошими ветровыми ресурсами и определять на ней участки территории с наилучшими ветроэнергетическими характеристиками [6]. Среднегодовое значение ветра для любой местности России или другой страны можно узнать на карте ветров [7]. Произвести расчёт мощности ветра по формуле, и понять какая её часть может преобразоваться в полезную электрическую энергию.

Далее следует определиться с высотой установки и типом генератора. Горизонтальные ветрогенераторы являются более эффективными, чем вертикальные. Также при сборке ветряного генератора понадобятся: контроллер; лопасти, вращающие вал генератора; мачта для крепления на высоте; устройство для ориентации ветрогенератора по ветру; аккумулятор, в котором будет накапливаться полученная энергия.

С целью обучения подбору оптимальной конструкции ветроэнергетической установки было решено разработать учебный макет. Данный макет поможет студентам лучше разобраться в устройстве и физических принципах работы ветроэнергетической установки.

Для разработки учебного макета ветроэнергетической установки было решено использовать ветряной генератор с горизонтальной осью вращения. Лопасти изготавливаются методом 3D-печати. Всего будет 3 лопасти, так как малоллопастный ветрогенератор имеет меньший пусковой момент.

На валу ротора будет установлен тормозной механизм, который будет замедлять вращение в случае превышения номинальных оборотов. Для направления установки под поток ветра имеется «хвост». Затем остаётся подключить ветровой генератор к контроллеру и аккумуляторной батарее. Также, для создания имитации реальной системы в комплект будет добавлен инвертор напряжения.

### **Источники**

1. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. 280 с.
2. Васенин А.Б. Энергоэффективное управление ветроэнергетическими установками // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: тез. докл. 22-й Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Москва, 2016. С. 318.
3. Крюков О.В., Титов В.В. Разработка АСУ автономными ветроэнергетическими установками // Автоматизация в промышленности. 2009. № 4. С. 35–37.
4. Применение генератора в ветроэнергетических установках малой мощности / И.А. Гаيبов [и др.] // Молодой ученый. 2016. № 22 (3). С. 25–29.
5. Рогозина Д.А. Проблемы и перспективы развития ветроэнергетических установок в России / Д.А. Рогозина [и др.] // Молодой ученый. 2016. № 22.3 (126.3). С. 40–43.



6. Ветроэнергетика: руководство по применению ветроустановок малой и средней мощности / сост.: В.М. Каргиев [и др.]. М.: Интер-соларцентр, 2001. С. 30

7. «Ветрогенератор для частного дома своими руками: где деньги?» [Электронный ресурс]. URL: <https://elektrikblog.ru/vetrogenerator-dlya-chastnogo-doma-svoimi-rukami> (дата обращения: 06.03.2021).

УДК 004.8

## ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

Д.Р. Абдрахманов<sup>1</sup>, Р.Д. Садыков<sup>2</sup>, А.С. Марченко<sup>3</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>danis1108@mail.ru, <sup>2</sup>rsa00821@gmail.com, <sup>3</sup>kete-chan@mail.ru

Рассматривается способ улучшения качества производимых материалов с помощью внедрения искусственного интеллекта. Исследуется метод для сбора информации об объекте посредством лазерного 3D-сканера, построение объемной модели продукта и сравнение ее с эталоном.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, нейросеть, машинный интеллект, самообучаемость, лазерный 3D-сканер.

На сегодняшний день существует множество примеров внедрения искусственного интеллекта в системы автоматизации. Например, если необходимо вывести человека из опасной зоны, освободить человека от рутинных операций, повысить эффективность производства продукции, энергетических ресурсов и т. д., функционально расширить возможности диагностики, а следовательно, существенно улучшить качество производственных процессов на предприятиях.

Исследователи выделяют следующие направления систем искусственного интеллекта: нейрокибернетическое и логическое [1]. Проанализировав достоинства и недостатки данных систем, мы пришли к выводу, что их комбинирование является наиболее эффективным методом реализации искусственного интеллекта в АСУ ТП [2].

На данный момент целью нашего исследования является оптимизация производства посредством использования комбинированного искусственного интеллекта.

Нами была рассмотрена проблема обнаружения дефектов произведенных деталей и устранение неполадок, приведших к появлению этих дефектов. Традиционные методы оценки качества продукта имеют ряд недостатков, среди которых: монотонность, высокая психофизическая нагрузка в процессе работы, малый опыт и нехватка сноровки в данной области – всё это может обернуться негативными последствиями для эффективности производства.

Мы предлагаем в качестве решения проблемы внедрить в производство комбинированную систему искусственного интеллекта. Концепция идеи заключается в следующем: с помощью камеры, которая будет состоять из лазерных 3D-сканеров, каждая деталь будет проходить сканирование и сравнение с эталоном по логическому алгоритму [3]. В случае, если деталь по каким-либо причинам не проходит по требованиям ГОСТ, нейросетевой искусственный интеллект вступает в работу. Он оповещает о неисправности детали и выдвигает возможные причины повреждения и рекомендации по их устранению (см. рисунок).

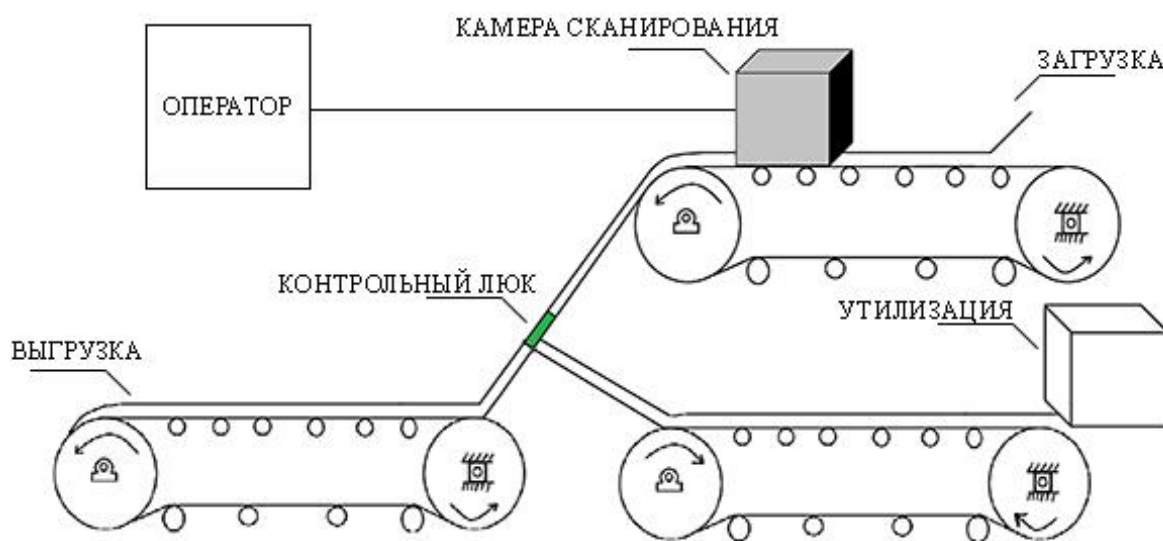


Схема оценки качества продукции

Лазерные сканеры должны располагаться в камере так, чтобы полностью охватить продукт, максимально исключая слепые зоны [4]. В результате лазерные устройства передают на вычислительную машину массив точек детали, который с некоторой вероятностью может содержать неточности и шумы [5]. Обычно исправлением подобных данных занимается оператор-человек вручную, что и приводит к комплексу

негативных последствий, упомянутых ранее в статье. В таких случаях появляется необходимость в задействовании алгоритмов нейросетевого искусственного интеллекта, позволяющих эффективно избежать помех в конечном результате.

Самым значимым достоинством данной идеи является безвредное внедрение оптимизации как для персонала, так и для производства. Персонал не будет перегружен большим объемом работы, так как производство способно функционировать с малым количеством человеческого ресурса. К числу преимуществ в сравнении с традиционным методом оценки можно добавить сокращение времени дефектации одной единицы продукции, экономическую выгоду предприятия.

Основные недостатки искусственного интеллекта в АСУ ТП заключаются в следующем: затраты на обучение системы, новое оборудование.

В заключение стоит отметить, что рассмотренный метод оценки качества продукции полностью не исключает человеческое вмешательство в управление процессом производства, но вместе с этим уменьшает количество затрагиваемых кадров на объект, что является, несомненно, большим плюсом. С нашей точки зрения, затраты на систему диагностики дефектов оправдывают себя, так как предприятие сумеет избежать большинство убытков, вызванных бракованной партией продукции и невозможностью быстро обнаружить неисправности в оборудовании.

### **Источники**

1. Павлов С.Н. Системы искусственного интеллекта: учеб. пособие: в 2 ч. Томск: Эль Контент, 2011. Ч. 1. 176 с.
2. Сидокина И.Г. Системы искусственного интеллекта: учеб. пособие. М.: КНОРУС, 2015. 248 с.
3. Петров М.А., Ахмед Э.И.С., Азатьян Э.М. Оптическое эб-сканирование и оценка геометрической точности изготовления деталей и прототипов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 12. С. 151–158.
4. Юнусбаев Н.М. Применение 3D-сканирования в технологиях ремонта агрегатов и восстановления автотракторных деталей // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2018. № 3. С. 133–138.
5. Спириденко А.А., Горина А.В., Хахулина Н.Б. 3D-лазерное сканирование строительных конструкций // Студент и наука. 2018. № 4. С. 53–60.

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

М.Б. Байжигитова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
dirtbagonmars@gmail.ru  
Науч. рук. И.М. Сафаров

Программный комплекс предназначен для будущих специалистов, кто не имеет навыков программирования ПЛК. Целью курса является обучение студентов методам разработки программного обеспечения интеллектуальных средств и контроллеров автоматизированных систем. Курс содержит теоретический и практический материал по программированию систем автоматизации на основе ПЛК.

**Ключевые слова:** ПЛК, программирование, СКАДА-системы, системы автоматизации, контроллеры, Международная Электротехническая Комиссия (МЭК).

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) часто применяются в промышленной автоматизации различных технологических процессов на больших и малых предприятиях. Применение ПЛК заметно облегчает создание и использования, как сложных автоматизированных систем, так и отдельных устройств, а также – бытового назначения. ПЛК дает возможность автоматизировать процессы в различных отраслях.



Рис. 1. Упрощенное представление ПЛК

ПЛК имеет три части: входную, выходную и центральную.

Для программирования и отладки возможно подключение к ПЛК внешнего ПК.

Входная часть ПЛК обеспечивает ввод в центральную часть состояния переключателей, датчиков либо других смарт-устройств. Управление внешними исполнительными устройствами, таких как электромагнитные пускатели моторов, источники света, клапаны и умные устройства, осуществляется через выходную часть в центральном процессоре.

Система программирования обеспечивает более простой подход к разработке управляющих программ для специалистов различных отраслей.

Впервые удобный и упрощенный способ программирования контроллеров путем составления на экране компьютера визуальных цепей из релейных контактов для описания операторов программы появился в ПЛК. Благодаря этому инженеры-технологи могут быстрее освоить новую профессию. Такое программирование называется - язык релейной логики или Ladder Diagram (LD или LAD). В программе применяются различные функции и операторы, такие как логические, арифметические, также таймерные функции, счетчики, что расширяет возможности программирования.

Программирование ПЛК можно осуществить на пяти стандартизированных языках Международной Электротехнической Комиссией (МЭК), которые совместимы между собой. Три из них графические и два текстовые. Часть программы может проектироваться на одном языке, а другая – на другом, наиболее удобном для нее.

Несмотря на это программирование ПЛК является относительной. После обучения с программирование небольшого устройства путем логики сможет справиться почти каждый инженер-технолог. Для проектирования больших и более сложных программ потребуются знать основы программирования и специализированные знания в программировании ПЛК.

Сейчас создание программного обеспечения для современных ПЛК можно облегчить за счет специализированных программ, как CoDeSys (рис. 2), ISaGRAF, Simatic Step7 и других комплексов, которые не привязаны к какой-либо аппаратной платформе ПЛК и включают в себя все необходимые функции для автоматизации [1].

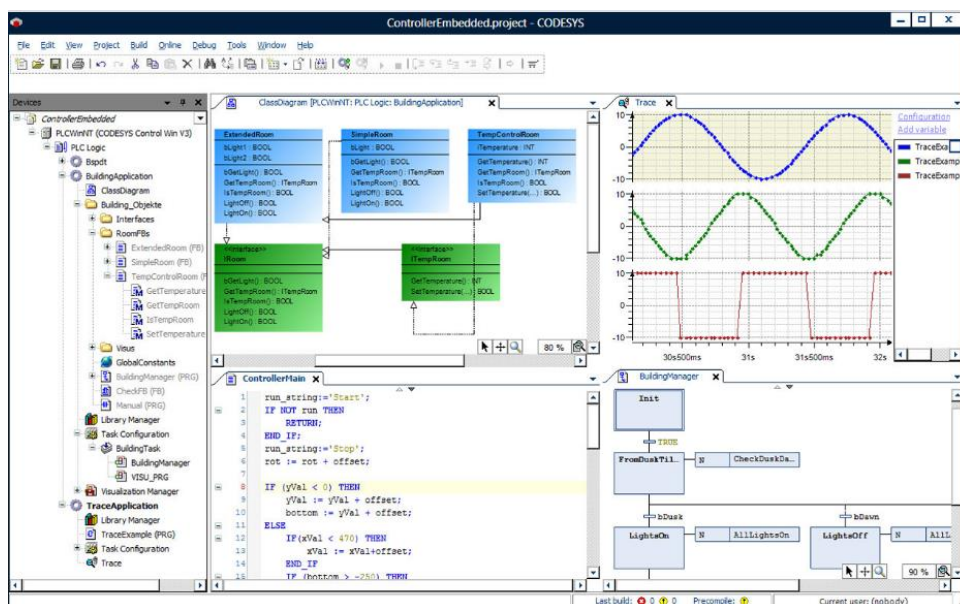


Рис. 2. Рабочая среда программирования в программе CoDeSys

Программа обучения включает такие темы, как:

1. Программируемые логические контроллеры. Системы программирования

1.1. Контроллеры для систем автоматизации

1.2. Системы программирования на языках МЭК

2. Языки МЭК. Архитектура ПЛК

2.1. Обзор языков МЭК

2.2. Изучение среды программирования, конфигурации ПЛК, дискретных входов и выходов, реализации логических функций на языках LD и CFC

3. Работа с данными. Логические операторы

3.1. Изучение арифметических операторов и операторов сравнения

3.2. Изучение операторов выбора, типы переменных и их объявление

4. Таймерные функции в ПЛК

4.1. Таймерные функции

4.2. Реализация таймерной функций

5. Обзор современных ПЛК

5.1. Обзор ПЛК фирмы ОВЕН

5.2. Обзор ПЛК фирмы SIEMENS

### Источники

1. «Введение в ПЛК: что такое программируемый логический контроллер» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.compel.ru/lib/95591> (дата обращения: 03.03.2021).

## ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОИСКА СТРУКТУРНОГО ПЕРЕХОДА В ПОЛИМЕРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА РАЗЛАДКИ

А.А. Балашов, П.А. Абрашкин  
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов  
balashovalexei@yandex.ru

Целью работы является модернизация метода разладки в последовательности коэффициента тепловой активности полимерного материала для поиска структурного перехода. Для этого необходимо разработать алгоритмическое и программное обеспечение метода обнаружения изменения среднего в последовательности информативного параметра, с использованием выделения рабочего участка термограммы.

**Ключевые слова:** информационная система, метод, полимеры, программное обеспечение, структурные переходы, теплофизические свойства.

Разработано алгоритмическое и программное обеспечение измерительной системы для поиска структурного перехода в полимере с использованием метода разладки в последовательности информативного параметра. Информативным параметром в этом методе является коэффициент тепловой активности материала, который прямопропорционален теплоемкости материала. Известно, что при структурном переходе в полимере резко изменяется теплоемкость материала, которая является теплофизическим свойством данного материала.

Реализация разработанного метода обнаружение изменения среднего в последовательности гауссовских случайных величин включает в себя следующие этапы (рис. 1) [1–4]:

- 1) построение зависимости  $T = f(\tau)$  и выделение на нем второго рабочего участка;
- 2) обработку термограммы и построение зависимостей  $\varepsilon_i = f(n)$  (рис. 2);
- 3) применение теста Колмогорова–Смирнова на непротиворечие нормальному закону зависимостей  $\varepsilon_i = f(T_s)$ ;
- 4) расчет решающей статистики по кумулятивной сумме (рис. 3);
- 5) проверку гипотезы  $H$  против альтернативной гипотезы  $H_1$  (рис. 4);
- 6) идентификацию аномалии информативного параметра ( $\varepsilon_{\text{макс}}$ ), как структурного перехода ( $\varepsilon_{\text{п}}$ ).

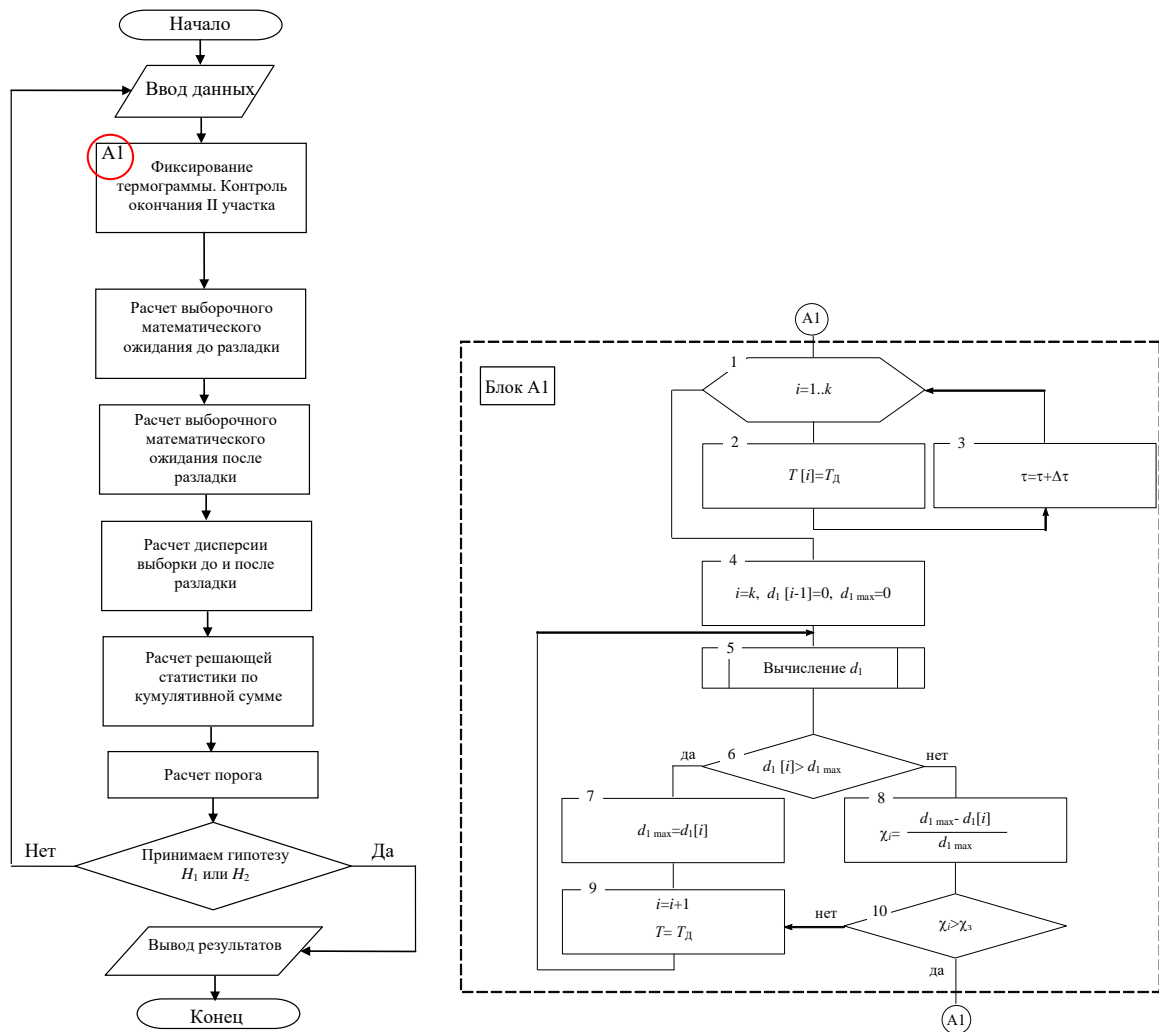


Рис. 1. Алгоритм, реализующий метод обнаружения изменения среднего в последовательности информативного параметра

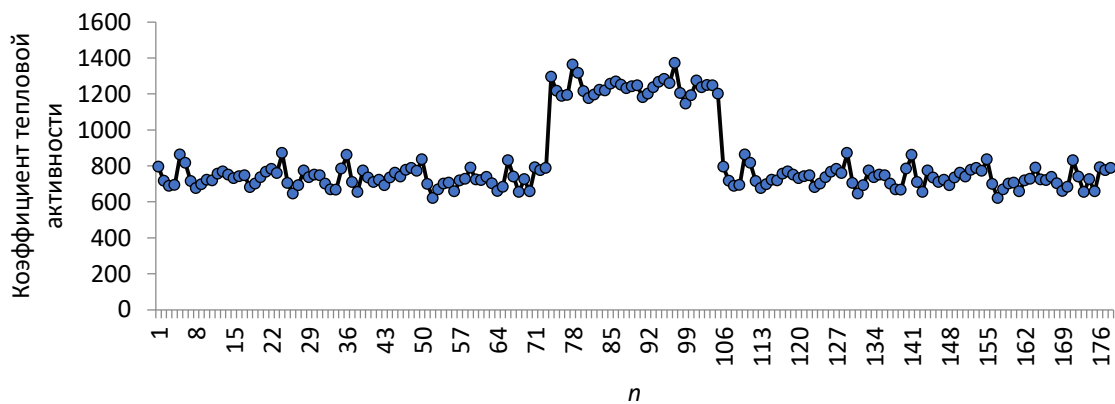


Рис. 2. Исходные данные для тестовых данных



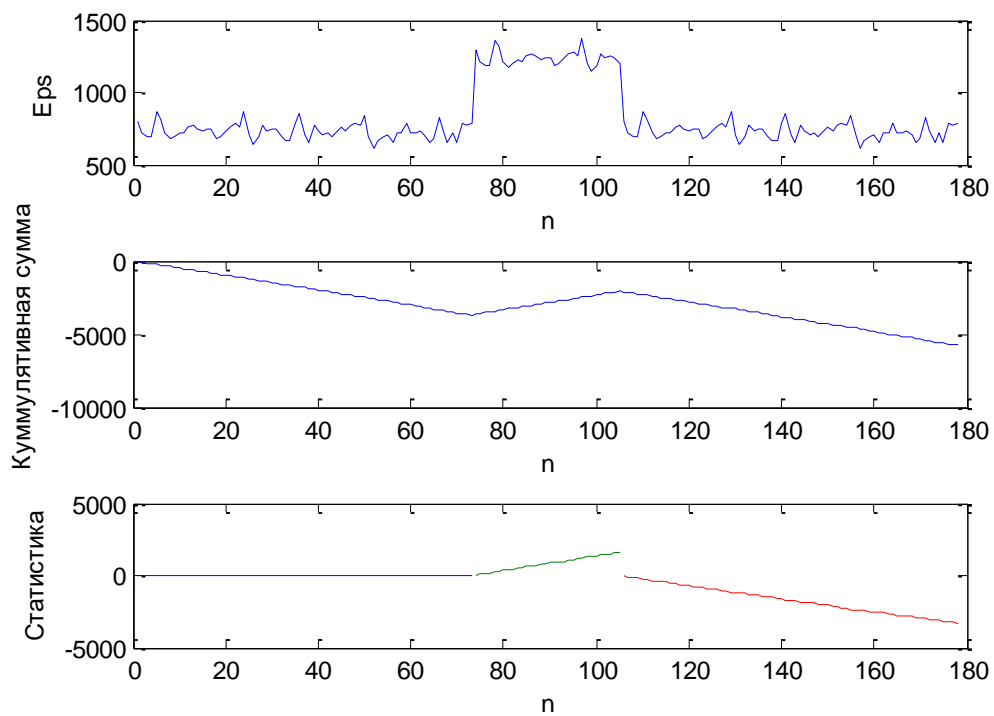


Рис. 3. Результаты расчета решающей статистики по куммулятивной сумме

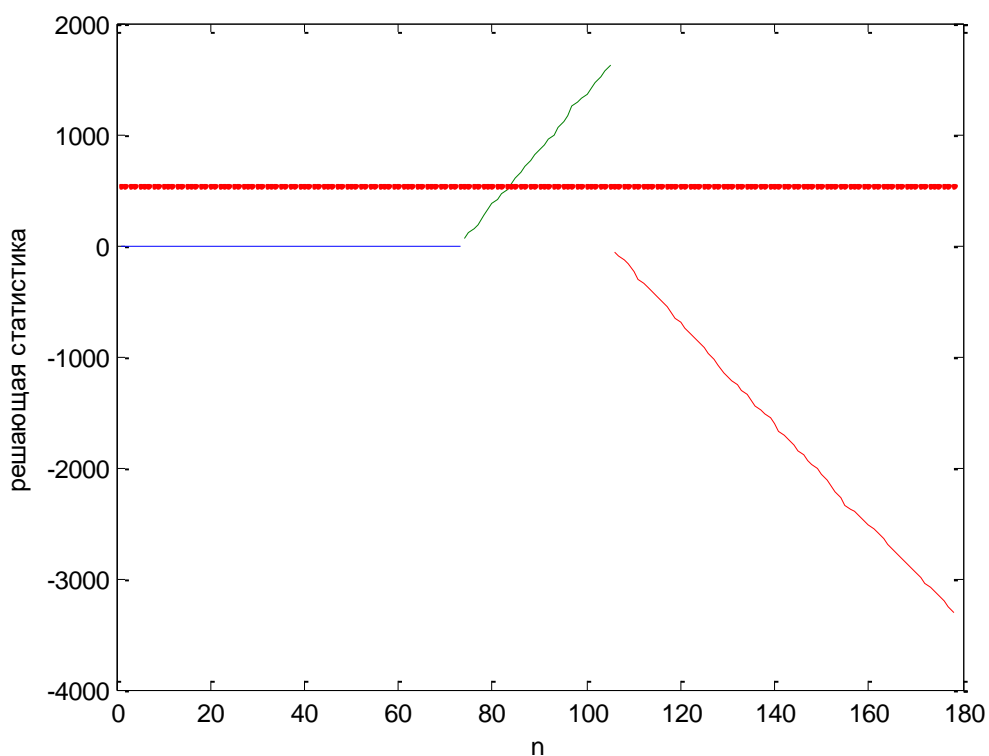


Рис. 4. Зависимость решающей статистики и порога по критерию Неймана-Пирсона

Реализация метода отношения правдоподобия для обнаружения прямоугольного сигнала с неизвестным моментом проявления на фоне гауссовских случайных помех в последовательности информативного параметра, разработан в программе MATLAB.

Результаты применения алгоритма, реализующего данный метод, следующие:

- выборочное математическое ожидание до разладки –  $MT1 = 731,8$ ;
- выборочная дисперсия до разладки –  $DT1 = 2820,0$ ;
- выборочное математическое ожидание во время разладки –  $MT2 = 1237,7$ ;
- выборочная дисперсия во время разладки –  $DT2 = 2529,3$ ;
- выборочное математическое ожидание после разладки –  $MT3 = 731,8$ ;
- выборочная дисперсия после разладки –  $DT3 = 2820,1$ ;
- требуемое отношение сигнал/шум в дБ для критерия Неймана-Пирсона  $SNR=20,2$ ;
- порог  $threshold = 541,6$ ;
- принимаем гипотезу  $H1$  – есть разладка.

Таким образом, разработанное алгоритмическое и программное обеспечение метода обнаружения изменения среднего в последовательности информативного параметра, с использованием выделения рабочего участка термограммы позволяют определять структурный переход в полимерных материалах [5, 6].

### Источники

1. Жиглявский А.А., Красковский А.Е. Обнаружение разладки случайных процессов в задачах радиотехники. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1988. 224 с.
2. Волков В.Ю. Адаптивные, инвариантные и робастные методы обнаружения и различения сигналов: учеб. пособие. СПб.: СПбГУТ, 2005.
3. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Радио и связь, 1975. Кн. 2. 392 с.
4. Ван Трис, Г.Л. Теория обнаружения, оценок и модуляции / пер. с англ. М.: Сов. радио, 1972. Т. 1. 744 с.
5. Королев А.П., Макаручук М.В., Лоскутова А.Д. Твердотельная структура для тензоизмерений // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: матер. IX Междунар. науч.-инновац. молод. конф. Тамбов, 2017. С. 85–86.
6. Лоскутова А.Д., Королев А.П. Твердотельная структура для приборов контроля теплофизических свойств материалов // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: матер. XI Междунар. науч.-инновац. молод. конф. Тамбов, 2019. С. 163–165.

## СИСТЕМА ОРИЕНТИРОВАНИЯ МОБИЛЬНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Ю.А. Блинова<sup>1</sup>, Д.М. Русин<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>blinovaya17@yandex.ru, <sup>2</sup>333dessign@mail.ru

Науч. рук. А.Н. Богданов

Приведены области возможного применения и структура разрабатываемой мобильной роботизированной платформы. Описаны отдельные технические решения, позволяющие выполнить построение карты местности и идентификацию положения разрабатываемой мобильной роботизированной платформы.

**Ключевые слова:** мобильная роботизированная платформа, системы навигации, техническое зрение, информационно-измерительные устройства.

Решения по автоматизации на основе мобильных роботизированных платформ можно отнести к ключевым направлениям сферы интеллектуального производства и транспортировочной техники будущего. Автоматическая транспортировочная система с применением мобильных роботизированных платформ способна обеспечить оптимальное использование пространства, максимальное разнообразие вариантов логистики и быструю адаптацию к изменениям.

Можно выделить следующие направления для применения мобильных роботизированных платформ.

1. Внутрипроизводственная логистика. В этом случае транспортные роботы выполняют функцию погрузки, перемещения и доставки сырья, материалов и готовой продукции. Наибольшее свое применение подобные роботы нашли на складах. В медицинской сфере мобильные роботизированные платформы осуществляют развозку пищи, сборку белья и помощь пациентам.

2. Военная сфера. Благодаря способности достигать труднодоступные места и дистанцированию от оператора, мобильные роботизированные платформы нашли свое применение в опасных для людей миссиях: разминирование и разведка в зонах обстрела. Наиболее известными вариантами подобных систем являются – беспилотные летательные аппараты и роботы-саперы.

3. Исследовательские работы. Благодаря способны добираться в места, недоступные для человека мобильные роботизированные платформы могут брать пробы вулканической магмы, погружаться на дно глубоководных впадин, подниматься в разреженные слои воздуха. Перспективным является разработка мобильных роботизированных платформ для применения в космосе.

4. Бытовая сфера. Примерами применения подобных мобильных роботизированных платформ являются роботы-пылесосы (и различные вариации) и промороботы.

5. Транспорт. В настоящее время беспилотные транспортные средства в основном находятся на этапе разработки и тестирования. Активному внедрению мобильных роботизированных платформ в качестве транспорта препятствуют факторы – юридические, риски, несоответствие возможностей современного программного обеспечения вариативности ситуаций, состояние инфраструктуры. Но это одно из наиболее перспективнейших направлений развития робототехники, имеющее значительный финансовый потенциал.

Во всех перечисленных направлениях необходимой чертой мобильных роботизированных платформ является возможность самостоятельно осуществлять навигацию в пространстве. Для этого важно решить две наиболее крупные задачи:

- 1) составление точной карты;
- 2) идентификация положения мобильной роботизированной платформы в пространстве.

Для решения задачи по составлению карты возможно применение мобильных роботизированных платформ. С этой целью робот должен быть оснащен средствами, которые имеют возможность позиционирования и построения 3D-модели окружающего пространства [1–5]. Структура подобной мобильной роботизированной платформы представлена на рисунке.

Система навигации, разрабатываемой мобильной роботизированной платформы, включает в себя акселерометр и гироскоп. Это поможет определить его относительное местоположение, скорость и направление движения. Определение местоположения только по пройденному расстоянию на основе данных с энкодера может быть неверным по причине появления накопленных ошибок из-за люфта и пробуксовка.

Для расчёта расстояния до препятствий и построения 3D-модели окружающего мира возможно применение системы из двух сопряженных видеокамер (на основе стереозрения) или сканирующих лидаров.

Применение лидаров обеспечит получение более точной и полной информации об окружающем пространстве. В условиях густого тумана или задымленности имеет смысл применить ультразвуковые дальнометры. В связи с этим рассматривается вариант использования совмещенной системы на базе лидаров и ультразвуковых датчиков.

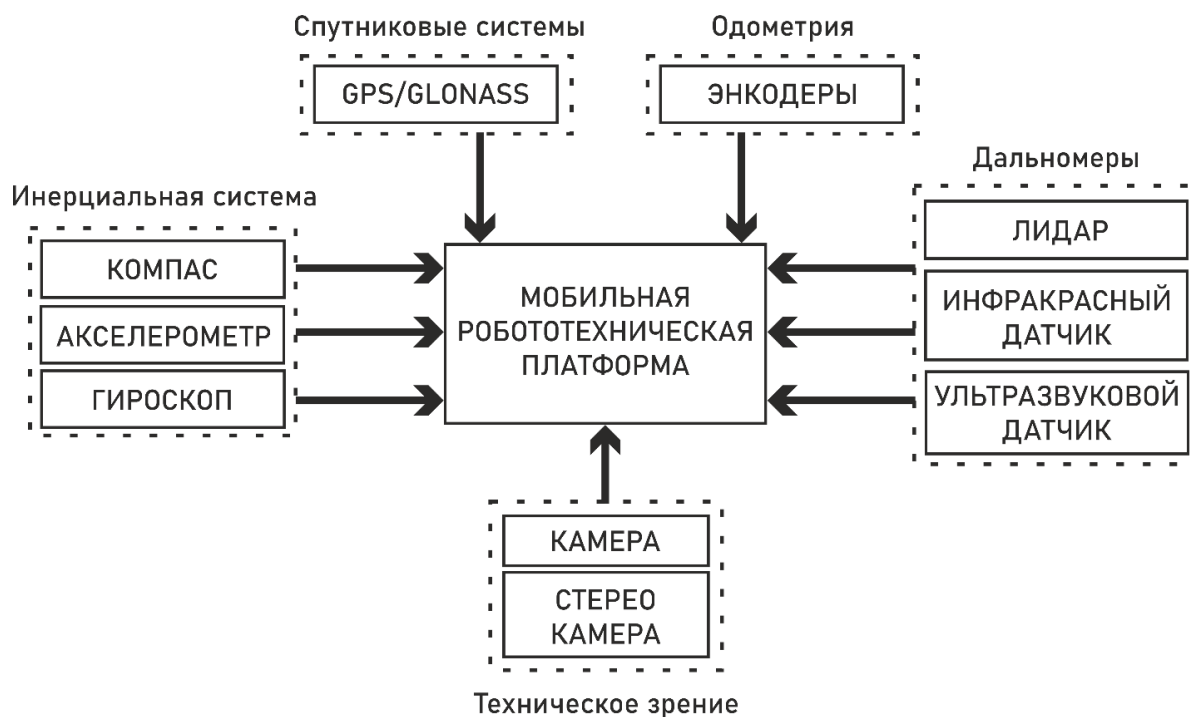


Рис. 1. Структурная схема мобильной робототехнической платформы для решения задач позиционирования в пространстве

Представленная структура (рис. 1) мобильной роботизированной платформы подходит и для решения задачи идентификации ее положения в пространстве.

### Источники

1. Герасимов В.Н. К вопросу управления движением мобильного робота в динамической среде // Робототехника и техническая кибернетика. 2014. № 1. С. 44–51.
2. Соколин Д.Д., Паротькин Н.Ю. О решении задачи локального позиционирования объектов в помещениях // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. Т. 2, № 13. С. 239–241.
3. Бобырь М.В., Милостная Н.А. Нечеткая модель интеллектуальной системы управления мобильным роботом // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2015. № 3. С. 57–67.

4. Колесников М.А., Юдин А.В. Аппаратно-программный комплекс по определению местоположения объекта на плоскости методом ультразвуковой триангуляции // Будущее машиностроения России: сб. докл. 10-й Всерос. конф. молодых ученых и специалистов (с международным участием). 2017. С. 591–595.

5. Девятериков Е.А. Алгоритм описания траектории мобильного робота по данным визуального одометра для автоматического возвращения к оператору // Наука и образование. 2014. № 12. С. 705–715.

УДК 635.91

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УХОДА ЗА КОМНАТНЫМИ РАСТЕНИЯМИ

В.С. Ершова<sup>1</sup>, Д.А. Конов<sup>2</sup>, А.Н. Богданов<sup>3</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>veronika.yershova@gmail.com, <sup>2</sup>daniilkonov2@gmail.com, <sup>3</sup>ban.mic@mail.ru

Рассмотрена актуальность автоматизации ухода за комнатными растениями. Сформулированы функции, которые автоматизированная система должна выполнять. Представлен компонентный состав разрабатываемого прототипа системы.

**Ключевые слова:** автоматизация, комнатные растения, автоматический полив.

В наше время большинство людей перебирается из сел в города, из маленьких поселений – в мегаполисы. Среди огромного количества каменных многоэтажек и бетонных дорог многим не хватает растений, деревьев и цветов. По этой причине всё больше соскучившихся по живой природе людей выращивают «зеленых питомцев» дома, на своих балконах и подоконниках. Однако зачастую они не имеют возможности оказать достойный уход для каждого своего растения, т.к. в городах сумасшедший уровень жизни: то на работе завалы, что даже поесть не успеваешь, то нужно на какое-то время отлучиться из города. А горшок с цветком с собой не увезешь.

Так появляется все большая потребность в автоматической системе ухода за растениями, чтобы они могли хорошо расти и без человеческого присмотра. Регулирование света, влаги в почве, температуры – всё это можно настроить таким образом, что растение не только не умрёт в отсутствие хозяина, но и будет хорошо расти и цвести в своё время [1– 3].

На сегодняшний день существует уже множество так называемых «автоматических горшков» на рынке, однако пока преимущественно только на зарубежном. В среднем такая система по уходу за комнатным растением обойдется примерно в 10.000 рублей, что является довольно большой роскошью для представителей среднего класса. По сути, эта сумма чуть меньше суммы прожиточного минимума, установленного в Российской Федерации, поэтому далеко не всем по карману.

С целью создания системы, которая сможет позаботиться о комнатном растении и вместе с этим не потратит большую часть семейного бюджета было решено создать прототип доступной автоматизированной системы ухода.

В результате анализа информации об уходе за комнатными растениями были определены базовые функции, которые должна выполнять система. Жизненно необходимым процессом для любого живого организма является удовлетворение потребности в воде, иными словами, полив. Зачастую хозяева в суматохе большого города и однообразных будней могут попросту забыть о том, что почва в горшке за занавеской у окна нуждается в увлажнении, что приводит к болезни или гибели цветка. Таким же образом можно запомнить о том, что цветок уже был недавно полит и больше влаги ему не требуется. В итоге с новым поливом можно прийти к загниванию корней и, опять-таки, гибели растения.

Полив является основополагающим процессом при уходе за цветком. Но есть и другие, не менее важные факторы, которые отвечают за благоприятный рост растения. К ним относятся уровень света, температура окружающей среды и влажность воздуха. К сожалению, многие из любителей живой природы даже не подозревают об оптимальных условиях для своего цветка, и начинают искать информацию по уходу за ним в интернете только тогда, когда с ним что-то не так. Чтобы этого избежать, следует знать всё о растении уже изначально, пока оно не заболело. А что, если информация по уходу за цветком будет находиться всегда под рукой, там же, где можно точно узнать его состояние? Речь идет о мобильном приложении. Такие системы уже тоже существуют на рынке.

Таким образом, система по уходу за растением должна включать в себя регулирование влажности почвы через автоматический полив, регулирование освещенности растения и задание оптимальных настроек индивидуально, а также возможность контролировать уровень температуры и влажности воздуха непосредственно у цветочного горшка.

Для осуществления полива можно реализовать небольшой резервуар с водой у самого горшка, в котором установлен насос. Для того, чтобы он заработал, необходимо установить датчик влажности в почве самого горшка, который передавал бы сигнал на контроллер, и уже оттуда сигнал подастся на насос и в почву начнет поступать влага.

В качестве решения вопроса освещенности существует такой вариант, как использование фито-лампы, прикрепленной на рейке в вертикальном положении. Так растение будет освещаться будто бы солнцем, с одной стороны, во всю его высоту. Конечно, можно установить лампу над горшком, однако это загромоздит конструкцию и добавит ей неустойчивости. Установка лампочки также лишь добавит риск опрокидывания растения при неудачном движении.

Регулировать температуру и влажность воздуха, увы, сложно. В целях снижения стоимости на систему регулирования целесообразно сфокусироваться на основных функциях по уходу за растениями. Но зато можно контролировать эти параметры дистанционно, и при необходимости переставить горшок в более теплое место в квартире или поставить к горшку увлажнитель воздуха. Такие параметры помещения легко отслеживаются с помощью датчиков температуры и влажности воздуха.

Для того, чтобы знать, как ухаживать за конкретным растением, нужно иметь некоторую базу данных с нужными параметрами. Так, в Play Market уже существуют такие приложения, как MiHome, где есть необходимая информация по уходу. Можно пользоваться уже существующим вариантом, но под разрабатываемую систему регулирования требуется отдельное программное обеспечение, чтобы, в идеальном случае, можно было не только узнавать об уходе за растением и следить за его состоянием, но и регулировать при необходимости параметры самой системы. Это может быть смена условий при пересадке цветка, изменение количества света для цветения или что-то другое.

Для осуществления всего вышперечисленного следует выбрать приборы, которые не будут стоить много денег и в то же время смогут исправно выполнять свою функцию.

После обзора рынка электронных и чувствительных устройств был составлен список для создания прототипа автоматической системы регулирования за комнатными растениями. Для удобства они разбиты на отдельные группы по выполняемым функциям:

а) полив:

- датчик уровня воды Water Level Sensor SR017;
- датчик влажности почвы FC-28;
- насос погружной DC 3-5V;

б) освещение:

- датчик освещенности – фоторезистор;
- регулятор яркости AC Light Dimmer Module;
- фито-лампа Uniel ULI-P20 WHITE 550;



в) температура и влажность воздуха:

– датчик влажности и температуры воздуха DHT-22.

Все эти процессы легко регулируются с помощью компактного логического контроллера Arduino Nano, который позволит обрабатывать получаемые сигналы и задавать регулирующее воздействие при изменении параметров. В число функционального оборудования входит сам горшок и резервуар для жидкости.

В результате реализации проекта планируется добиться чтобы качественный уход за растением не был дорогим и трудоемким.

### Источники

1. Шептунов А.А. Комплекс автоматизированного выращивания растений «SMART GROW» // Перспективы развития информационных технологий: сб. матер. VI Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. С.С. Чернова. Новосибирск, 2012. С. 122–125.

2. Иванова Л.С., Филимонов В.Е. Совершенствование автоматизированных систем ухода за комнатными растениями // Наука и инновации – 2018: матер. XIII Междунар. науч. шк. Йошкар-Ола, 2018. С. 158–161.

3. Тимофеева С.С. Воздух закрытых помещений и его корректировка методами фитоэргономики (ч. 2) // Вестник ИрГТУ. 2014. № 5 (88). С. 78–87.

УДК 621.31

### АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УМНОГО ДОМА

Д.А. Зеленов<sup>1</sup>, И.Д. Каримов<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>dimariff@mail.ru, <sup>2</sup>karimow242@gmail.com

Науч. рук. А.С. Марченко

kete-chan@mail.ru

Представлено описание системы Умного дома: дано определение этого понятия, перечислен ряд наиболее распространенных датчиков, которые используются для создания интеллектуальной системы. Приведена краткая история появления на российском рынке первых устройств системы Умного дома и их успехи. На основе анализа проведенных крупными компаниями опросов, был выведен ряд наиболее перспективных направлений для развития систем Умного дома.

**Ключевые слова:** умный дом, датчики, сенсоры, микроконтроллеры, тенденции и перспективы развития.

Система Умный дом – это проект современного жилого дома, обустроенного множеством высокотехнологичного оборудования для максимально комфортного проживания людей. Все интеллектуальные, телекоммуникационные системы, а также системы безопасности, установленные в Умном доме, объединены в единую сеть с возможностью выхода в сети общего пользования. Умный дом позволяет постоянно контролировать любые изменения в доме и оповещать о них, а также управлять множеством систем [1].

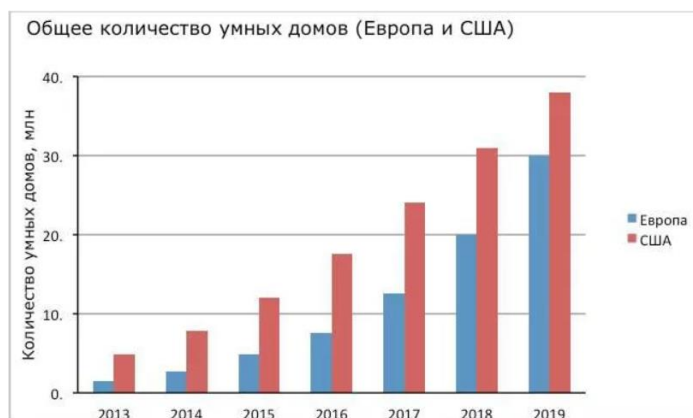
В основе работы системы Умного дома лежит автоматизация всех процессов, которые установлены в жилом помещении. Систему УД делят на три базовых сети: сеть мультимедийных устройств, сеть осветительного оборудования, сенсорную сеть. Каждая из них включает в себя различные подсети: управление электроосвещением в отдельных комнатах, включение/отключение различных устройств и техники и т. д.

Впервые в России решения Умного дома представила на рынке компания «Билайн». Это были первые М2М – продукты, в которые входил комплекс простейших датчиков: движения, света, дыма, открывания дверей. Оповещение о каких-либо изменениях происходило посредством звукового и индикаторного сигнала. Всеми датчиками управлял центральный контроллер – модуль управления, который так же позволял производить настройку и калибровку датчиков. Следом за компанией «Билайн» ряд других мобильных операторов попытались внедрить на рынок свою продукцию. Наиболее успешной стала компания «МТС», когда в 2013 г. представила на рынке систему удаленного мониторинга дома. Данная система состояла из основного набора датчиков (освещения, дыма, света и открытия дверей) и GSM-камерой. Управление происходило с помощью мобильного приложения. Камера оснащалась SIM-картой, что позволяло при необходимости позвонить на камеру и увидеть происходящее в доме в реальном времени [3].

Проанализировав европейский и американский рынки за период с 2013 по 2019 гг. (см. рисунок), можно сделать вывод о том, что технологии Умного дома стремительно развиваются и применяются практически в каждом 10 доме: т.е. в одном из 10 домов США установлен хотя бы один датчик Умного дома, что говорит нам о нарастающей востребованности этой технологии.

Но, как и любая технология в мире, технологии Умного дома так же не стоят на месте и постоянно развиваются.

В ходе анализа исследований и проведенных опросов, были выявлены следующие основные направления развития датчиков Умного дома.



Общее количество умных домов в Европе и США

1. Совершенствование систем безопасности: в рамках развития технологии Умного дома предусмотрено улучшение совокупности систем и функций охраны, мониторинга, которые обеспечивают безопасность дома. В основу развития легло создание такой системы видеонаблюдения, которая способна с определенного расстояния определить личности зарегистрированных в данном доме людей и в случае отсутствия данных о человеке, оповестить хозяина дома о приближении неизвестного человека.

2. Совершенствование систем Умного освещения. Данный пункт является наиболее важным, так как исходя из проведенных опросов, большинство пользователей системы Умного дома используют именно Умное освещение. Поэтому выделяют наиболее перспективное направление развитие данной системы – формирование персонализированной системы внутреннего и наружного освещения, которые управляются удаленно либо автоматически в зависимости от различных условий, которые задает сам пользователь;

3. Система управления климатом. Данная система предназначена для автоматического регулирования работы всех климатических систем, установленных в доме с целью обеспечения максимально комфортного микроклимата. Так как энергетика многих стран направлена на рационализацию использования ресурсов, то для систем Умного дома выявляется тенденция повышения эффективности теплоснабжения в доме.

4. Системы контроля и управления Умным домом являются наиболее перспективным и быстрорастущим сегментом умного дома. На сегодняшний день наиболее распространены Умные колонки с разными голосовыми ассистентами, которые значительно упрощают жизнь пользователем. Поэтому в числе главных тенденций развития рынка решений Умного дома – это дальнейшая интеграция Умных устройств с интеллектуальными виртуальными ассистентами, которая основана на растущей популярности голосовых платформ [2, 4].

В заключении следует сказать, что, появившись на мировом рынке в 2013 г., система Умного дома сразу получила широкий круг потребителей, что позволило системе быстро развиваться. На сегодняшний день система Умного дома включает в себя более 120 датчиков и сенсоров, которые способны обеспечить полный контроль над жилым помещением. Система Умного дома позволяет повысить комфортабельность любого жилого помещения. А выявленные тенденции развития позволяют повысить эффективность этой системы и обеспечить максимальный комфорт в использовании.

### **Источники**

1. Марк Э.С. Практические советы и решения по созданию «Умного дома». М.: НТ Пресс, 2017. С. 89–91.
2. Мокров Е.А. Интегральные датчики. Состояние разработок и производства. Направления развития в жилищном хозяйстве. М.: Техносфера, 2018. 125 с.
3. Тимошенко С.П. Разработка и изготовление структур КНИ для производства интегральных схем и микроэлектромеханических систем. М.: Техносфера, 2018. С. 64–65.
4. Тенденции и перспективы развития рынка решений Умного дома [Электронный ресурс]. URL: [https://json.tv/ict\\_telecom\\_analytics\\_view/tendentsii-i-perspektivy-razvitiya-rynka-resheniy-umnogo-doma-20201203053606](https://json.tv/ict_telecom_analytics_view/tendentsii-i-perspektivy-razvitiya-rynka-resheniy-umnogo-doma-20201203053606) (дата обращения: 25.02.2021).

УДК 681.5

## **НЕДОСТАТКИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ КОНВЕЙЕРАМИ**

А.И. Колесникова<sup>1</sup>, Л.И. Баширова<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>kolesnikova.nastya2015@mail.ru, <sup>2</sup>liliyabashirova116@gmail.com

Науч. рук. И.М. Сафаров

Рассмотрены актуальные проблемы неэффективного применения конвейеров, связанные с недостатками систем транспортировки. Отдельное внимание уделено вопросам оптимизации работы конвейерных линий промышленных предприятий, которые представляется решить путем внедрения систем автоматического регулирования и диагностики.

**Ключевые слова:** автоматическое управление, конвейер, транспортная система, промышленное предприятие, повышение эффективности, технико-экономические показатели.

В современном мире промышленность является одной из ключевых отраслей мирового хозяйства. При этом транспортировочные коммуникации на промышленных предприятиях имеют большое значение. Их эффективность является определяющим фактором скорости и объемов производства. Вопрос оптимизации конвейерного оборудования чрезвычайно актуален на сегодняшний день.

Целью данной работы является выявление путей оптимизации работы конвейерных систем и повышение их энергоэффективности. При этом необходимо проанализировать возможности улучшения работы конвейеров, повышения их рационального использования и срока службы путем применения автоматизации различных его элементов.

Конвейеры широко применяются на крупных предприятиях. В первую очередь это связано с обширными масштабами производства и необходимостью разветвленных автоматизированных линий транспорта.

При этом доступную транспортную линию в условиях активного производства загружают максимально из соображений эффективного использования энергии. Однако высокие нагрузки без необходимых мер автоматизации в конечном итоге приведут лишь к увеличению числа аварий и остановке всего конвейерного узла, что является недопустимым.

По этой причине применение систем автоматического управления конвейерами является ключевым фактором сохранения и продления срока их эксплуатации.

Среди наиболее частых причин выхода из строя конвейерной линии можно выделить следующие.

Продукт производства предприятия может поступать на грузонесущее полотно неравномерно [1]. Но скорость и энергопотребление привода конвейера при этом не меняются. Производительность линии таким образом уменьшается или может стать нулевой. То есть очевидно снижение эффективности работы конвейера.

Следующая проблема вытекает из описанной выше. Попытки внедрения регулирования скорости транспортного полотна привели к увеличению нагрузки на само полотно конвейера, а также приводные узлы (барабаны).

Отсутствие систем диагностики и мониторинга конвейерного оборудования приводит к нарастанию степени износа вплоть до критической, что может стать причиной более или менее крупной аварии [2]. А при отсутствии выявления необходимости ремонта может привести к полной остановке оборудования.

Решение вышеописанных проблем требует комплексного интегрированного подхода, так как одна проблема влечет за собой появление других.

Проблема неравномерной загрузки конвейера решается путем внедрения системы регулирования скорости вращения электропривода в зависимости от грузопотока на линии. Реализация данной схемы возможна с помощью применения частотного регулирования привода и датчика веса, поступающего на ленту, которые связаны между собой программируемым логическим контроллером [3]. Такая система позволит избежать снижения технико-экономических показателей работы конвейерного узла, связанных с нерациональным расходом электроэнергии, износом ленточного полотна, а также механического износа нагруженных узлов агрегата.

Другим способом регулирования грузопотока является применение промежуточных бункеров-накопителей. В периоды времени, когда нагрузка далека от номинальной, они накапливают продукт и при достижении необходимого значения отправляют его на транспортное устройство [4], с помощью систем автоматического управления, которые согласуют свою работу с электроприводом. Система должна останавливать его в те моменты, когда нагрузка на конвейер отсутствует и происходит загрузка продукта в промежуточный накопительный бункер. Система автоматического управления также отслеживает наполнение бункера и вес продукта на линии при котором активируется режим сбора продукта в бункер.

Проблему, связанную с динамическими нагрузками, вызванными изменением скорости движения полотна возможно решить путем стабилизации тягового усилия конвейера за счет применения устройств плавного пуска. Так же возможно применение автоматических натяжителей конвейерного полотна, которые помогут избежать его провисания, пробуксовки и резких рывков.

Конвейер должен непрерывно работать с высокой производительностью, без аварий и остановок. Поэтому мониторинг и диагностика конвейерной линии является одной из самых важных задач, для решения которой применяются системы датчиков контроля состояния и безопасной работы конвейера.

Существующий уровень развития автоматизированных технологий позволяет оптимизировать работу конвейерных систем, повысить их энергоэффективность и увеличить срок службы.

## Источники

1. Хранцев А.А., Ткаченко А.Е. Разработка устройства автоматического контроля пробуксовки ленточного конвейера // Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых: сб. науч. тр. XX Междунар. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов (в рамках 6-го Междунар. науч. форума «Инновационные перспективы Донбасса»). Донецк, 2020. С. 202–205.

2. Дмитриева В.В., Сизин П.Е. Непрерывное регулирование скорости ленточного конвейера в случае усеченной спектральной плотности грузопотока // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 2. С. 130–138.

3. Агафонов К.А., Покатаев Б.Д., Силаев А.А. Датчики для безопасной работы конвейера // Академический вестник Якутской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 8. С. 5–11.

4. Мищенко Т.П. Методы и средства контроля тяговых параметров ленточного конвейера // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития. 2020. № 1. С. 34–40.

УДК 621-313.3

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Е.А. Кусина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

katena.kusina@mail.ru

Науч. рук. И.М. Сафаров

Рассмотрены преимущества и перспективы применения автоматизированных систем генерирования электроэнергии с использованием возобновляемых энергоресурсов. Делается краткий обзор развития систем генерации ветроэнергетики в мире и в России.

**Ключевые слова:** генерация электроэнергии, возобновляемые энергоресурсы (ВЭУ), устойчивое развитие.

Согласно энергетической стратегии России на период до 2030 г. одним из приоритетов названо развитие систем генерации на основе возобновляемых источников энергии [1]. К основным системам генерирования электроэнергии с использованием возобновляемых энергоресурсов являются: геотермальная энергетика, гелиоэнергетика, солнечные тепловые электростанции, фотоэлектрические преобразователи, ветроэнергетика, сетевые, автономные возобновляемые энергоресурсы, микрогидроэнергетика, энергия океана, биоэнергетика.

Основными преимуществами генерирования электроэнергии с использованием возобновляемых энергоресурсов является их экономичность, при определенных условиях и экологичность. Применение возобновляемых источников энергии в малых автономных энергосистемах может существенно повысить качество жизни населения. В ряде стран и международных организаций проводятся исследования долгосрочных перспектив развития энергетики мира и его регионов. Интерес к этой проблеме обусловлен определяющей ролью энергетики в обеспечении экономического роста, ее существенным и все возрастающим негативным воздействием на окружающую среду, а также ограниченностью запасов топливно-энергетических ресурсов. В связи с этим, в будущем неизбежна кардинальная перестройка структуры энергетики с переходом к использованию экологически чистых и возобновляемых источников энергии. Мировым сообществом признана необходимость перехода к устойчивому развитию, предполагающему поиск стратегии, обеспечивающей, с одной стороны – экономический рост и повышение уровня жизни людей, с другой – снижение негативного влияния деятельности человека на окружающую среду до безопасного предела, позволяющего избежать в долгосрочной перспективе катастрофических последствий.

В переходе к устойчивому развитию важная роль будет принадлежать новым автоматизированным системам генерирования электроэнергии [2].

На сегодняшний день ветроэнергетика является наиболее развитой сферой практического использования природных возобновляемых энергоресурсов. Суммарная установленная мощность крупных ветроэнергетических установок в мире оценивается сегодня в 44 000 МВт. Мировыми лидерами в ветроэнергетике являются США, Германия, Нидерланды, Дания, Индия и т. д. В частности, Германия планирует к 2030 г. производить при помощи ветра до 30 % всей электроэнергии страны [3].



Достаточно широкое распространение ветроэнергетических установок объясняется их относительно невысокими удельными капиталовложениями по сравнению с другими возобновляемыми энергоисточниками. В России к началу нынешнего века использовалось около двух с половиной тысяч ветряков общей мощностью миллион киловатт.

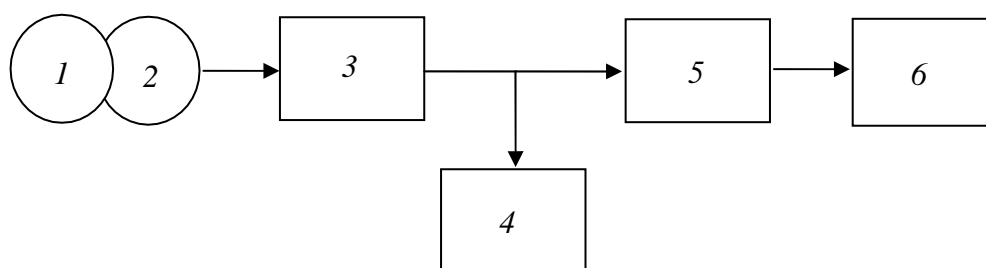
В настоящее время в России возникли новые организации, занимающиеся ветроэнергетикой, постепенно налаживается сотрудничество с зарубежными партнерами. Созданы отечественные образцы возобновляемых энергоресурсов (ВЭУ) мощностью до 100 кВт, например ВЭУ «Радуга». Однако недостаточный объем финансирования научных и опытно-конструкторских разработок не способен обеспечить не только развитие, но и поддержку научно-технического уровня, достигнутого в данной сфере.

Принцип действия всех ветродвигателей заключается во вращении ветроколеса с лопастями под напором ветра. Вращающий момент ветроколеса через систему передач передается на вал генератора, вырабатывающего электроэнергию.

С точки зрения диапазона мощностей ветроэнергетические установки можно разделить на возобновляемые энергоресурсы, предназначенные для «большой» энергетики и малые ветроэлектростанции, перспективные для систем автономного электроснабжения.

Следует отметить, что наибольшие успехи ветроэнергетики в мире характерны именно для большой энергетики. Это объясняется с одной стороны более высокой энергоэффективностью крупных сетевых ветроэлектростанций, а с другой – ограниченностью или отсутствием децентрализованных зон электроснабжения в передовых странах с высокоразвитой транспортной и другой инфраструктурой

Общий вид структурной схемы ветряной электростанции, предназначенной для автономного электроснабжения потребителей переменным напряжением стандартных параметров показан на рисунке



Структурная схема автономной ветряной электростанции: 1 – ветродвигатель; 2 – генератор; 3 – выпрямительно-зарядное устройство; 4 – аккумуляторная батарея; 5 – автономный инвертор; 6 – электрические нагрузки станции

Существенное место по запасам и масштабам использования занимает энергия потоков воды. Объясняется это высокой энергетической плотностью потока воды и относительной временной стабильностью режима стока большинства рек. Большая плотность воды по сравнению с воздухом определяет, при прочих равных условиях, соответствующее уменьшение массогабаритных и стоимостных показателей рабочего колеса гидротурбины по сравнению с ветроколесом. Стабильность потока воды и широкие возможности по регулированию его энергии позволяют использовать более простые и дешевые системы генерирования и стабилизации параметров производимой электроэнергии. В итоге, гидроэлектростанции производят более дешевую электроэнергию по сравнению с ветроэлектростанциями, а также с энергоустановками, использующими другие виды возобновляемых энергоресурсов. Следует отметить, что гидроэлектростанции могут устанавливаться практически на любых водотоках: от небольших ручьев до крупнейших рек. Соответственно изменяется и мощность их гидроагрегатов.

В настоящее время принята следующая классификация: станции мощностью до 100 кВт – микроГЭС, от 100 до 1 000 кВт – миниГЭС, от 1 000 до 10 000 кВт – малые ГЭС и свыше 10 000 кВт – крупные гидроэлектростанции. Конструкция и принципы построения этих классов энергоустановок могут существенно отличаться. Станции класса «мини» и более мощные обычно используют в своей конструкции плотину, обеспечивающую запас воды в водохранилище и необходимый напор воды на гидротурбине [4].

На сегодняшний день, возобновляемая энергетика является наиболее динамично развивающимся направлением электро- и теплоэнергетики. Развитие технической и законодательной базы возобновляемой энергетике и устойчивые тенденции роста стоимости топливно-энергетических ресурсов определяют технико-экономические преимущества электростанций, использующих возобновляемые энергоресурсы, именно поэтому важная роль в развитии электроэнергетики принадлежит новым автоматизированным системам генерирования электроэнергии.

## **Источники**

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Рос. Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р. М., 2014. 97 с.

2. Лукутин Б.В. Возобновляемые источники электроэнергии: учеб. пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. 187 с.

3. Безруких П.П., Стребков Д.С. Возобновляемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2005. С. 5–70.

4. Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии: справ.-каталог / В.И. Виссарионов [и др.]. М.: АО «Новые и возобновляемые источники энергии», 2004. 448 с.

УДК 004.94

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АТЛАС МОДЕЛЕЙ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

Т.И. Латыпов<sup>1</sup>, Д.И. Шайхезадин<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>latypov-14@mail.ru, <sup>2</sup>Shaijezadin2013@yandex.ru

Науч. рук. В.А. Данилов

Рассматривается потенциал применения технологий 3D-печати в образовательном процессе. Разрабатываются способы более рационального использования 3D-принтеров, раскрываются возможности их применения как для преподавателей, так и для обучающихся.

**Ключевые слова:** 3D-технологии, инновации, образование.

В современных реалиях актуальной проблемой являются недостаток мотивации и интереса к учебной деятельности у обучающихся школ. Часто лишь небольшая часть от всех полученных знаний уверенно усваивается и закрепляется в памяти ученика. Для решения данной проблемы существуют различные форматы работы с обучающимися: интерактивные лекции, групповые дискуссии, игры, проблемное обучение, тренинги, работа в команде, case-study, индивидуальное обучение [1–3].

Современные технологии 3D-моделирования и виртуализации, 3D-печати и прототипирования способствуют созданию новых решений для повышения интереса учащихся к изучаемому материалу. Так приложения

дополненной и виртуальной реальности уже тестируются и применяются в ряде учебных учреждений [4–7]. 3D-печать в последнее десятилетие также стала значительно доступнее. Во многих школах появились 3D-принтеры и возникает все больше успешных случаев их применения [8–10]. При этом в среднем использование 3D-принтеров в школах не является достаточно эффективным.

Среди причин недостаточной эффективности применения 3D-печати в школе можно выделить:

- недостаточную подготовку или отсутствие специалиста, способного работать с 3D-принтером в школе;
- ограниченный набор идей применения 3D-принтера в школе.

В некоторых школах есть талантливые наставники и учителя, которые смогли найти интересный и эффективный способ применения 3D-печати. Но это скорее единичные случаи.

Нами разрабатывается проект «Атлас 3D-моделей для 3D-печати» с целью формирования открытой базы примеров готовых 3D-моделей и заданий на разработку моделей учащимися. Данный Атлас предназначен для учителей по физике, истории, географии и другим предметам, не имеющих навыков работы с 3D-принтером. Учитель выбирает в Атласе свой предмет, изучаемый раздел и получает набор примеров готовых 3D-моделей и заданий для учащихся на разработку.

В настоящее время разработан прототип системы, содержащий примеры моделей реактивного двигателя (рис. 1) и турбина Пелтона (рис. 2) для изучения раздела «Законы взаимодействия и движения тел», темы «Закон сохранения импульса. Реактивное движение». Формируется набор заданий, выполнение которых поможет учащимся лучше представить конструкцию устройств и физические принципы действия разработанных изделий. Так, при работе с реактивным двигателем обучающиеся изучат этапы работы устройства, т.е. попадание струи воздуха в двигатель за счет работы компрессора, его сжатие воздуха и «проталкивание» воздуха в камеру сгорания, где происходит процесс смешивания топлива с сжатым воздухом и поджигание этой смеси для получения большого количества теплоты, за счет которого происходит движение.

Применение Атласа в образовательном процессе способствует:

- совершенствованию творческих способностей учащегося (разработка конструкции и дизайна развивает пространственное мышление и фантазию);

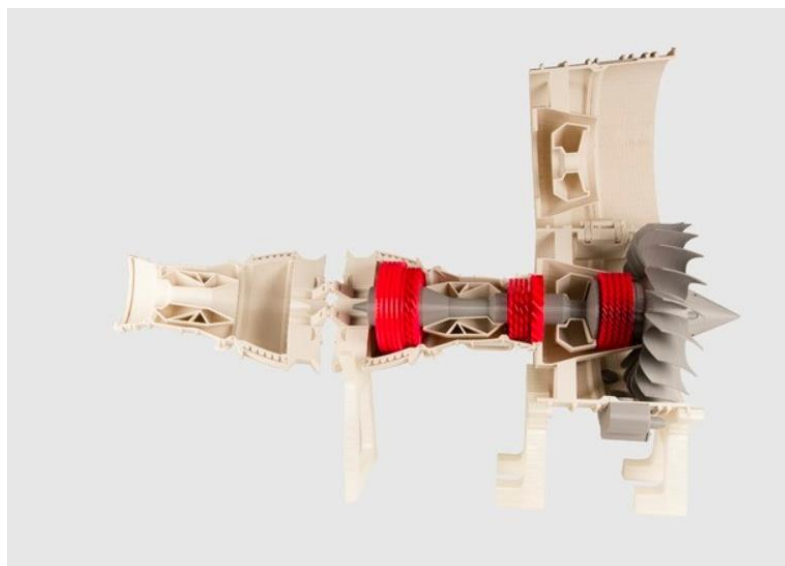


Рис. 1. Пример распечатанной и собранной модели реактивного двигателя



Рис. 2. Пример распечатанной и собранной модели турбины Пелтона

– развитию навыков совместной работы в группах (возможно разделение задач в команде на поиск и анализ информации, создание 3D-модели, подготовку и сборку деталей, или создание комплексных исторических реконструкций из нескольких объектов);

– более эффективному изучению физики, математики, геометрии благодаря наглядности и детализации разборных моделей.

На текущем этапе разрабатывается система для предмета физика. В дальнейшем планируется масштабирование системы с добавлением других предметов.

## Источники

1. Опарина Я.О., Шабанова О.А. Развитие познавательного интереса и учебной мотивации через внедрение модели персонализированного обучения // Вестник ШГПУ. 2020. № 34 (48). С. 69–72.
2. Зайнагабдинова Л.В. Интерактивное обучение как технология, ориентированная на повышение интереса и мотивации к обучению у учащихся // Перспективы развития науки и образования: сб. науч. тр. по матер. Междунар. науч.-практ. конф. Тамбов, 2012. Ч. 5. С. 41–44.
3. Потапова Т.С. Игровые формы обучения – важнейшее условие мотивации и развития интереса к физике // Физика-ПС. 2010. № 5. С. 18–20.
4. Левченко И.В., Гриншкун А.В. Технология дополненной реальности как объект изучения в курсе информатики основной школы // Информатика и образование. 2019. № 9. С. 12–19.
5. Гурова Т.И., Заболотникова В.С., Ярмухаметова И.В. Внедрение современных технологий в образовательный процесс: использование технологий виртуальной и дополненной реальности // Интерактивное образование. 2020. № 1. С. 22–24.
6. Гриншкун А.В., Левченко И.В. Возможные подходы к созданию и использованию визуальных средств обучения информатике с помощью технологии дополненной реальности в основной школе // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер.: Информатизация образования. 2017. Т. 14, № 3. С. 267–272.
7. Bogdanov A.N., Ryabikh I.A., Galiev A.I. Education quality improvement due to automated virtual reality system. DOI: 10.1051/e3sconf/201912405024 // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 124.
8. Рыжков А.И. Спецкурс «3D-печать и 3D-моделирование» в старших классах средней школы // Вестник педагогических инноваций. 2018. № 1 (49). С. 127–132.
9. Митрофанова Т.В., Копышева Т.Н., Сорокин С.С. О моделировании объектов для 3D-принтера // Образование: прошлое, настоящее и будущее: матер. II Междунар. науч. конф. Краснодар, 2017. С. 105–109.
10. Холодилов А.А., Пономарчук Ю.В. Влияние технологии трехмерной печати на мотивационную составляющую школьников // Проблемы и перспективы развития образования в технических вузах: сб. матер. науч.-метод. конф. / под ред. А.Н. Гануса. Хабаровск, 2016. С. 355–359.

## РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ПРОТЕЗА РУКИ НА БАЗЕ ARDUINO С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

Р.М. Муратов<sup>1</sup>, И.А. Рябых<sup>2</sup>  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1</sup>rafis\_mur@mail.ru, <sup>2</sup>igorr209@yandex.ru  
Науч. рук. А.Н. Богданов

Рассматривается разработка протеза для руки, который будет иметь связь с организмом человека по средствам использования датчиков давления. При проведении испытаний планируется использовать программу цифрового двойника.

**Ключевые слова:** протез руки, автоматическая связь организма и механизма,

Ежегодно в России признаются инвалидами свыше тысячи человек, причем больше половины из них – это люди с ампутированными конечностями. Причиной ампутации конечностей в 42 % являлась травма (бытовая, производственная, огнестрельные ранения), в 48 % – сосудистые заболевания, в 10 % – опухоли и врожденные деформации [1].

До конца XX в. практически все изобретения в области создания протезов были механическими или являлись элементами кастомизации. Основной проблемой таких протезов было отсутствие какой-либо связи с организмом, грубость и недолговечность. Протезы, заменяющие ампутированную конечность, не функционировали как полноценная их замена активной частью тела, и была неспособная полностью заменить конечность. Главным минусом протезов является их внешний вид и низкая функциональность. По итогу все используют их как элемент гардероба, который со временем подвергается сильному износу и становится непригодным к дальнейшей эксплуатации.

В России разработкой протезов рук для инвалидов занимается лишь две компании «Моторика» и MaxBionic. Компания «Моторика» занимается производством протеза «Страдивари» внешне напоминающего косметический протез, но он способен делать хват, а ещё в него можно встроить дополнительные функции, например, с помощью протеза можно оплачивать покупки через PayPass, средняя стоимость данного протеза 390 000 руб.. В бионическую руку также можно вмонтировать чёрно-белый дисплей для отслеживания уровня заряда, даты, времени и режима управления протезом. MaxBionic производит протезы «MeHandS» похожие на руку робота, способные выполнять больше функций чем «Страдивари», а его средняя стоимость 1 061 410 руб. Людей с такими протезами называют «киборгами». «MeHandS» – это много-схватывающий протез, пальцы которого могут двигаться по отдельности и брать предметы несколькими способами [2].

Для решения проблемы со связью протеза и организма можно использовать датчики, реагирующие на изменения состояния мышц. Я работаю над прототипом протеза для руки функционирующем на основе процессора Arduino Nano. Предполагается использование 2 резистивных датчиков и 2 сервопривода MG90S. На их базе собирается прототип, у которого будет возможность захвата объектов.

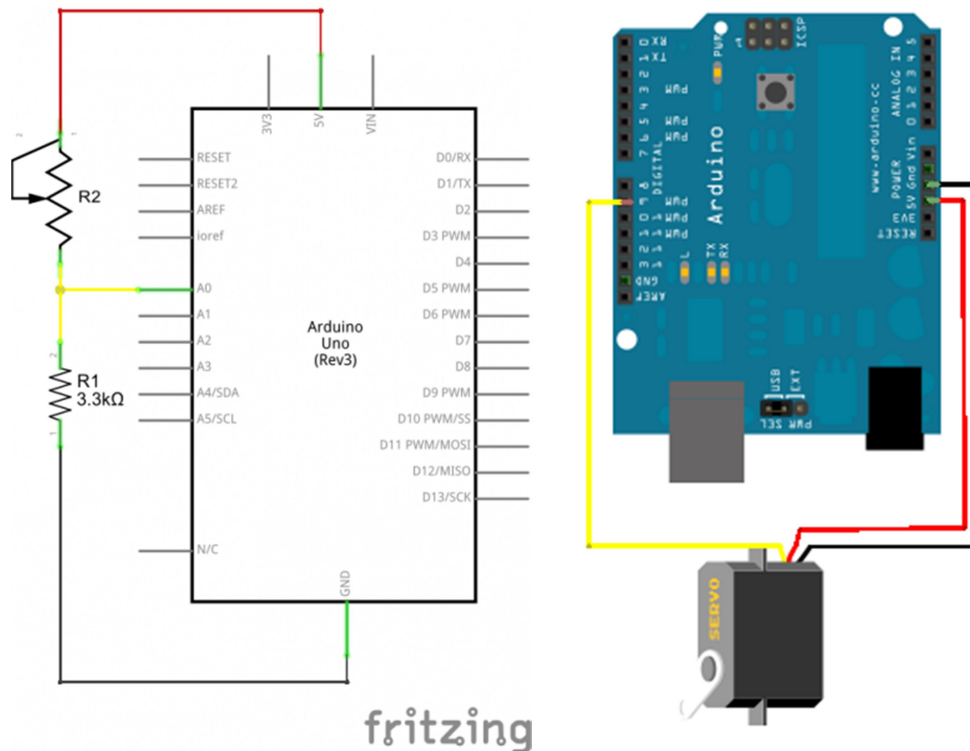


Рис.1. Схемы подключения Резистивного датчика и сервопривода соответственно

Для безопасности человеческой жизни при тестировании корректной работоспособности протеза я планирую использовать технологию цифрового двойника. Цифровой двойник [3] – это виртуальный и компьютеризированный аналог физической системы. Цифровой двойник может использоваться для моделирования в различных целях, используя синхронизацию в реальном времени считываемых данных, исходящих с полевого уровня, и может выбирать между набором действий с акцентом на оркестровку и выполнение всех действий производственной системы оптимальным способом. Это приводит к более высокой эффективности, точности и экономическим выгодам при производстве. При изменении программных значений, двойник реагирует так же, как отреагировал бы на это настоящий физический объект. Поэтому можно оценить его возможности, проверить свои ожидания, проиграть несколько сценариев развития событий и выбрать самый оптимальный.



Разработка цифрового двойника будет происходить на языке программирования C# в Unity3D, в котором встроены инструменты для создания цифрового двойника, позволяющие воссоздать обратную связь между Arduino и программным обеспечением, а благодаря поддержке 3D графики, движок обеспечит наглядность работы. Unity: это мультиплатформенный инструмент для разработки двух- и трёхмерных приложений и игр, работающий под операционными системами Windows и OS X. Приложения, созданные на данном инструменте можно портировать на: Windows, OS X, Android, Apple iOS, Linux, а также на игровые приставки Wii, PlayStation 3 и Xbox 360. Так же можно создавать приложения, работающие в браузере, для этого надо установить специальный модуль Unity WebGL. Также приложения созданные, с помощью Unity3D поддерживают обе спецификации 3D графики DirectX и OpenGL.

При работе в Unity 3D будут выполнены следующие виды работ:

- 1) разработка сцены (пространства с 3D-моделью) – настройка освещения, отображения 3D модели;
- 2) разработка сценария, настройка функций и методов взаимодействия с 3D-моделью, разработка и настройка эффектов;
- 3) сборка и настройка пользовательского интерфейса (UI) и опыта взаимодействия с ним (UX) в приложении.

При разработке также будет использован дополнительный плагин «ARDUnity», упрощающий и ускоряющий разработку цифрового двойника при помощи блочного метода программирования, что позволит на любом этапе разработки менять какие-либо значения, даже людям, не знающим программирования, например, при интеграции в проект медицинского персонала.

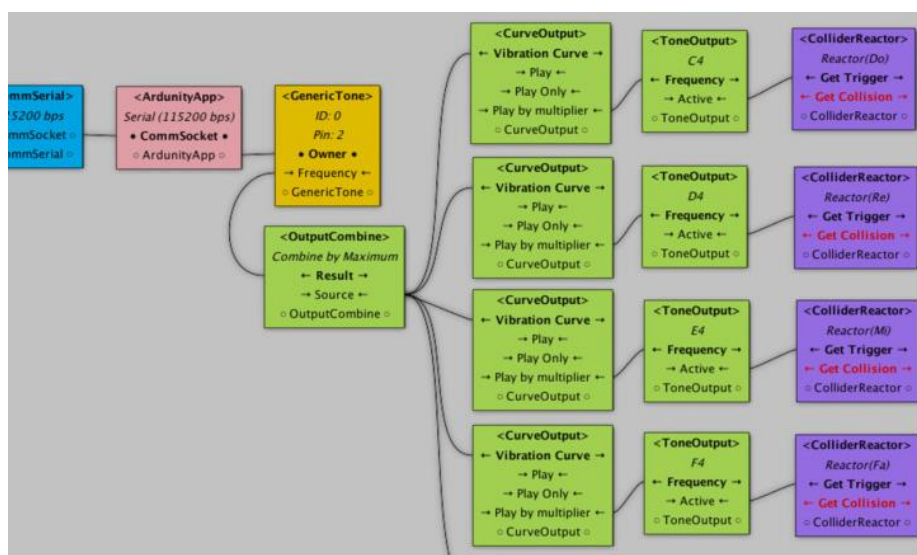


Рис. 2. Пример блочного программирования в «ARDUnity»

При разработке 3D-модели протеза будет использована учебная лицензия Autodesk 3DS max 2020. 3D Studio Max – это профессиональный программный пакет, созданный компанией Autodesk, для полноценной работы с 3D-графикой, содержащий мощный инструментарий не только для непосредственного трехмерного моделирования, но и для создания качественной анимации. 3D Studio Max является полноценным профессиональным пакетом 3D моделирования, содержащий абсолютно все необходимые для работы модификаторы. Это группы модификаторов выбора, сеток, полигонов, оптимизации поверхности и многие другие. 3D Studio Max, в отличие от аналогов, позволяет импортировать файлы сразу в проект Unity, тем самым производя экспорт 3D-модели без ошибок.

### **Источники**

1. URL: [https://studopedia.su/19\\_52805\\_obezbolivanie.html](https://studopedia.su/19_52805_obezbolivanie.html) (дата обращения: 21.01.2021).
2. Вольянова С. Кто в России создает бионические протезы, что о них говорят пользователи и как их купить на средства государства [Электронный ресурс]. URL: <https://tjournal.ru/analysis/102253-kto-v-rossii-sozdaet-bionicheskie-protezy-chto-o-nih-govoryat-polzovateli-i-kak-ih-kupit-na-sredstva-gosudarstva> (дата обращения: 01.03.2021).
3. «Как цифровые двойники помогают российской промышленности» [Электронный ресурс]. URL: <https://rb.ru/longread/digital-twin/> (дата обращения: 01.03.2021).

УДК 681.5.032

## **МОНИТОРИНГ УЧАСТИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС В ОБЩЕМ ПЕРВИЧНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ЧАСТОТЫ**

А.А. Никифоров, Н.В. Зорченко  
ОАО «ВТИ», г. Москва

В настоящее время электростанции, участвующие в общем первичном регулировании частоты должны проводить количественную и качественную оценку работы генерирующего оборудования. ОАО «ВТИ» проводит разработку методики автоматического мониторинга и анализа участия электростанций в общем первичном регулировании частоты. В результате должно быть разработано программное обеспечение для автоматизированной оценки участия генерирующего оборудования в общем первичном регулировании частоты.

**Ключевые слова:** регулирование; частота электрического тока, активная мощность; электростанция; турбина.

Первичное регулирование частоты сети электрического тока – процесс автоматического изменения активной мощности генерирующего оборудования под действием первичных регуляторов, вызванный изменением частоты и направленный на уменьшение этого изменения. Общим первичным регулированием частоты (ОПРЧ) называется первичное регулирование, осуществляемое генерирующим оборудованием в пределах имеющихся в данный момент времени резервов первичного регулирования, в соответствии с характеристиками общего первичного регулирования [1].

Электростанции, участвующие в ОПРЧ должны проводить количественную и качественную оценку работы генерирующего оборудования (мониторинг участия ОПРЧ). Количественная оценка проводится при отклонениях частоты на 0,2 Гц и более от номинальной. Для проведения количественной оценки в отношении оборудования ТЭС продолжительность указанных отклонений частоты должна быть не менее 30 с. Оценка осуществляется путем сравнения величин фактического и требуемого изменения мощности генерирующего оборудования от исходного значения при зафиксированном отклонении частоты [2, 3].

Для оперативной и эффективной оценки участия оборудования в ОПРЧ и своевременного устранения возможных неисправностей и отклонений в настройке систем регулирования, данный процесс должен быть автоматизирован. В связи с этим в настоящее время ОАО «ВТИ» занимается разработкой программного продукта, позволяющего в автоматическом режиме проводить оценку участия ТЭС в ОПРЧ.

На рис. 1 показано рабочее окно разработанной программы. Поле исходных данных обозначено на рисунке цифрой «1». Исходными данными являются массив значений частоты, мощности, плановой мощности. Также задаются значения расширения «мертвой полосы» первичного регулирования (МП), номинальной мощности рассматриваемой турбины или энергоблока (Рном). Для расчета необходимо указать для какого типа оборудования будет выполняться расчет: для паросилового или парогазового, так как для них существуют разные требования к динамике изменения мощности при отклонениях частоты [1, 2].

После поступления исходных данных в программу предлагается проверить наличие и количество выходов частоты за 200 мГц за рассматриваемый период, как правило, сутки. Наличие и количество данных интервалов с выходами частоты отображается в таблице (обозначено на рисунке цифрой «2»), после чего программа предложит выбрать номер интервала подобного выхода (при наличии) и рассчитает значения 4-х точек, определяющих время выхода за мертвую полосу, 200 мГц и возврата, а также нарушения по мощности в выбранном отрезке. Если нарушения присутствуют, то все они будут показаны в таблице. Таблица с нарушениями обозначена на рисунке цифрой «3».

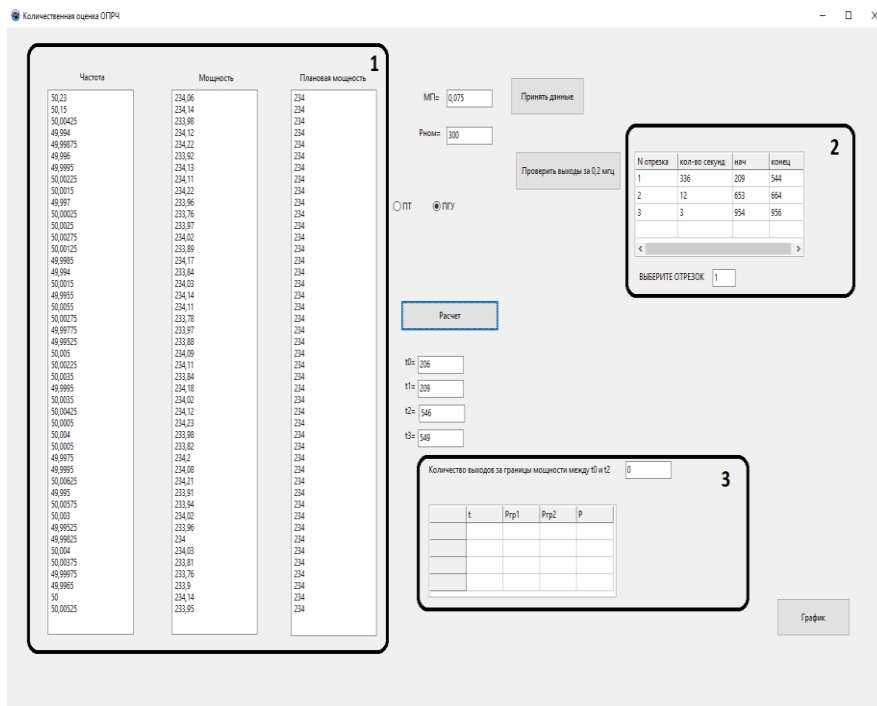


Рис. 1. Рабочее окно программы количественной оценки работы оборудования

При нажатии на кнопку «График» в программе можно посмотреть графики частоты и мощности, пример графика показан на рисунке 2. Верхний график показывает пример отклонения частоты более чем на 200 мГц. Нижний график показывает отклонение мощности 2, а также границы требуемого отклонения мощности 1. Как видно в примере, реакция мощности на изменение частоты для выбранного интервала адекватна.

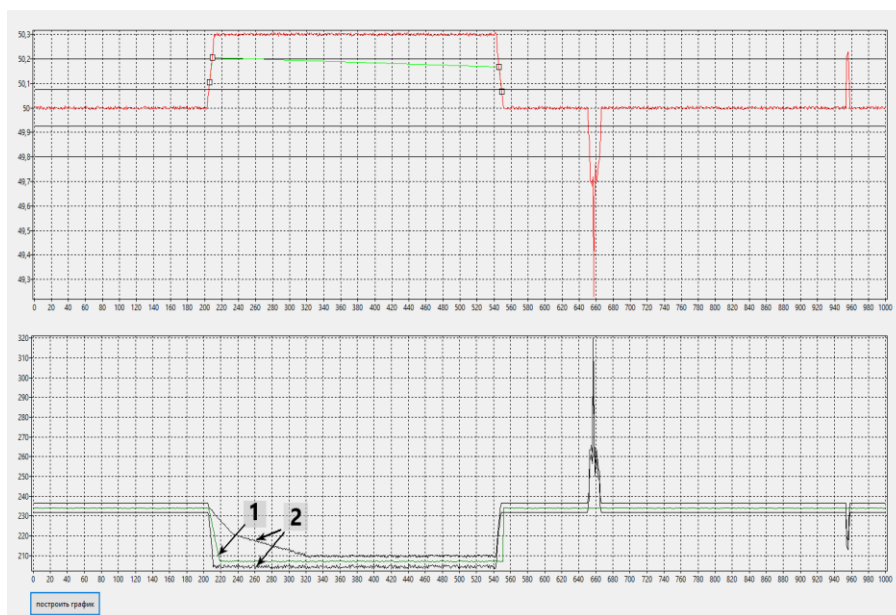


Рис. 2. Окно графиков программы количественной оценки работы оборудования

**Выводы.** ОАО «ВТИ» была разработана программа, позволяющая в автоматическом режиме оперативно осуществлять количественную и качественную оценку работы генерирующего оборудования в ОПРЧ. В дальнейшем данная программа может быть использована для оптимизации работы систем регулирования турбины ТЭС.

### **Источники**

1. ГОСТ Р 55890-2013. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Регулирование частоты и потоков активной мощности. Нормы и требования. М.: Стандартинформ, 2014. 18 с.

2. Требования к участию генерирующего оборудования в общем первичном регулировании частоты [Электронный ресурс]: утв. Приказом Министерства энергетики Рос. Федерации от 9 января 2019 г. № 2. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 01.03.2021).

3. Методика мониторинга и анализа участия генерирующего оборудования в общем первичном регулировании частоты. М., 2019. 20 с.

УДК 004.422

## **РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УХОДА ЗА РАСТЕНИЯМИ**

А.М. Пирогова, А.Н. Богданов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
alexndra200204@gmail.com, ban.mic@mail.ru

Описана работа разработки экспертной информационной системы для автоматизации процесса ухода за растениями, которая в будущем поможет в растениеводстве и в сельском хозяйстве увеличить производительность и улучшить качество продукции.

**Ключевые слова:** автоматизированные информационные системы, экспертные системы, автоматизация ухода за растениями, технологическая карта.

В связи с постоянным увеличением информации и усложнением технических устройств все большее распространение получают различные автоматизированные информационные системы (АИС). АИС предназначены для сбора, хранения, поиска и выдачи информации в требуемом виде.

АИС используются для накопления и постоянного корректирования больших массивов информации о лицах, фактах и предметах, представляющих интерес [1–4]. Эти системы работают преимущественно по принципу «запрос – ответ».

Примерами подобных АИС являются:

– «Консультант Плюс» – содержит набор федеральных и международных документов, решения судов, консультации по финансовым вопросам. Включает в свой состав федеральные, региональные и местные информационные базы;

– «Гарант» – так же содержит набор федеральных и международных документов, решения судов, консультации по финансовым вопросам. Выполнена в формате единой информационной базы, в которую включены и указы президента;

– «Кодекс» – содержит много нормативной и технической документации и специальные справочники по разным рабочим сферам.

Экспертная система (ЭС) – это автоматизированная система, содержащая базу знаний опытных специалистов о некоторой предметной области (финансы, медицина, право, диагностика и т. д.) с набором правил решения определенного круга задач и программно-технические средства, позволяющие на основе вводимых данных сформировать решение или варианты альтернативных рекомендаций для пользователя системы [5–7].

В качестве примеров были рассмотрены следующие ЭС:

1. Система META-DENDRAL – экспертная система, позволяющая определить наиболее вероятную структуру химического соединения по экспериментальным данным (масс-спектрографии, данным ядерного магнитного резонанса и др.). Система META-DENDRAL автоматизирует процесс приобретения знаний для DENDRAL, генерирует правила построения фрагментов химических структур.

2. Система MYCIN – была спроектирована для диагностирования бактерий, вызывающих тяжелые инфекции.

3. Система PROSPECTOR. Система PROSPECTOR – экспертная система, предназначенная для поиска (предсказания) месторождений на основе геологических анализов.

4. Система CASNET EXPERT – медицинская экспертная система для диагностики глазных заболеваний и выдачи рекомендаций по лечению. На ее основе разработан язык инженерии знаний EXPERT, с помощью которого и создан ряд других медицинских диагностических систем.

5. Система JUDITH – одна из первых юридических экспертных систем, позволявшая юристам получать экспертные заключения по гражданским делам.

6. Система TIMM – экспертная система, оказывающая помощь военному пилоту вертолета во время боевых действий.

7. Система XCON – экспертная система, предназначенная для определения конфигурации компьютеров при их продаже. Покупатель заказывает ЭВМ с определенными характеристиками, а экспертная система позволяет оптимально подобрать комплектующие блоки.

8. EXPERTAX – экспертная система, готовящая рекомендации ревизорам и налоговым специалистам в подготовке расчетов по налогам и финансовых деклараций.

Для эффективной автоматизации ухода за растениями необходим оптимальный алгоритм, учитывающий тип растения, климатические условия, тип почвы и другие факторы. С этой целью нами разрабатывается экспертная система для автоматизации процесса ухода за растениями. Данная система будет протестирована на разрабатываемых в Молодежном инновационном центре автоматизированных мини-теплицах и в дальнейшем масштабирована для применения на различных объектах сельского хозяйства.

На текущем этапе разработаны технологические карты по уходу за растениями: Фаукария, Шлюмбергера, Рео, Эухарис, Кливия, Пеларгония, Фиалка, Гибискус, Азалия, Гардения, Цикламен.

Технологическая карта содержит информацию:

- оптимальный режим поддержания влажности почвы в зависимости от сезона года;
- оптимальный режим поддержания влажности воздуха;
- оптимальный режим освещения;
- оптимальный режим поддержания температуры в зависимости от сезона года;
- рекомендации по уходу;
- о способах размножения;
- о вредителях и заболеваниях;
- о диагностике состояния по внешнему виду;
- о подвидах.

Разрабатываемая экспертная система затем будет интегрирована с автоматизированной системой управления мини-теплицей и будет способствовать принятию решений на основе адекватного реагирования на сигналы, поступающие от связанных с ними датчиков и команд с мобильных устройств.

С целью расширения базы данных системы, накопления и систематизации большего объема знаний, охвата профессионального опыта большего числа экспертов планируется добавить открытую онлайн-платформу.

Разрабатываемая экспертная система поможет определить, в чем нуждается то или иное растение: достаточно ли минеральных веществ и влаги содержится в почве, не испытывает ли он недостаток в солнечном свете, подходит ли ему температура воздуха и т. д.

### Источники

1. Дробязко О.Н. Вопросы использования терминов «Автоматизированная система», «Информационная система» и «Автоматизированная информационная система» // Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования: сб. науч. ст. Междунар. конф. 2014. С. 614–618.

2. Гутгарц Р.Д., Полякова П.М. Анализ особенностей формулирования функциональных требований к автоматизированной информационной системе // Программные продукты и системы. 2019. Т. 32, № 3. С. 358–367.

3. Легков К.Е., Бабошин В.А., Пастухов А.С. Повышение эффективности системы управления в рамках изменения подхода к автоматизации и информации // I-methods. 2014. Т. 6, № 4. С. 19–23.

4. Макарова Н.В., Макарова Л.М. Современные подходы к определению экономических информационных систем и автоматизированных систем управления // Поиск (Волгоград). 2019. № 1 (9). С. 291–295.

5. Долотина Е.А. Особенности применения экспертных систем в интеллектуальных компьютерных обучающих системах // Надежность и качество: тр. междунар. симпозиума. Пенза, 2013. С. 276–278.

6. Рыбина Г.В., Сергиенко Е.С., Моросин О.Л. Интеллектуальные обучающие системы на основе интегрированных экспертных систем: моделирование умений обучаемых решать сложные учебные задачи // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2014. Т. 12, № 8. С. 34–40.

7. Лукиных В.В. Создание экспертных систем (ЭС) средствами систем управления базами данных // Современные наукоемкие технологии: материалы конференции. № 11. 2009. С. 79–80.



## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ЗДОРОВЬЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

И.А. Поплавский<sup>1</sup>, М.А. Сафин<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>hope\_jefferson@bk.ru, <sup>2</sup>cmvorkut@mail.ru

Представлено общее описание, а также функциональные возможности автоматизированной системы управления состоянием здоровья крупного рогатого скота (КРС). Показаны преимущества применения данной технологии в сельском хозяйстве.

**Ключевые слова:** производство, автоматизация, агротехника, инновации, управление.

В последние годы набирает обороты беспривязное содержание скота на сельскохозяйственных предприятиях России, так как применение данной технологии уже значительно поспособствовало росту рентабельности молочного скотоводства за рубежом.

Но данный способ содержания несмотря на повышение продуктивности животных и снижение трудозатрат приводит также к невозможности отслеживать состояние здоровья каждого животного, в частности. Именно поэтому необходимым условием является внедрение автоматизированной системы управления в данную отрасль сельского хозяйства [1, 2].

С внедрением АСУ все данные о состоянии животного сводятся в одну компьютерную базу. Благодаря системе можно контролировать все важнейшие показатели, оперативно, своевременно принимать необходимые производственные решения.

Данная система состоит из следующих элементов:

- контроллер;
- транспондеры (чип для идентификации животного);
- оборудование для учёта и записи надоев молока;
- оборудование для мониторинга в реальном времени статуса коров;
- программное обеспечение;
- оборудование для управления движением стада по ферме.

Ключевым элементом системы является программное обеспечение. В базу данных вносится исчерпывающая информация о состоянии каждого животного: состояние здоровья, параметры молока, режим питания, физиологические данные и многое другое.

Отличным примером программного обеспечения может послужить ALPRO Windows от шведского производителя De Laval. Данное программное обеспечение позволяет увидеть графики лактации за последние 30-ть дней, сводки по активности, кормлению коров, точечные графики позволяют анализировать информацию по всему стаду. Также с помощью программы можно осуществлять точечный контроль над производством молока.

Для идентификации животных в данной системе используют носители идентификационного номера коровы – транспондеры [3]. Транспондеры бывают в следующих исполнениях:

- ушной чип – бирка, которая крепится к уху;
- шейный чип – ошейник с датчиком;
- ножной чип – повязка на ноге с датчиком.

Транспондер распознает корову при входе в доильный зал, на кормовую станцию или когда она проходит через сортировочные ворота. Обладая этой информацией, система имеет возможность учитывать индивидуальный надой молока, выдавать необходимую порцию кормов, направлять корову в свою группу или загон для лечения. Современные системы оснащены контроллерами доильного места, счетчиками молока и электронными пульсаторами. Они позволяют вести постоянный мониторинг и оценку коровы или группы коров, что позволяет достичь высоких показателей продуктивности по стаду. Если требуется провести осмотр животного или провести ветеринарные мероприятия, система действует следующим образом: при выходе из доильного зала, антенна считывает номер этой коровы, подается сигнал в головной компьютер. Система идентифицирует животное и подается обратный сигнал: при прохождении через селекционные ворота срабатывает система, и ворота переключаются таким образом, что корова попадает в изолятор. После чего ворота возвращаются в исходное положение. Корова остается в изоляторе для проведения осмотра и ветеринарных мероприятий [4].

В результате все собранные данные собираются в индивидуальную «карточку» животного.

К ведущим производителям данных систем можно отнести такие компании как Westfalia Landtechnik, De Laval. Автоматизированная система Dairy Plan 5 от германской компании Westfalia Landtechnik

позволяет управлять стадом любого размера (количество коров не ограничено). В комплектацию данной системы входят не только стандартные для всех систем датчики, системы управления доением, но также проходные весы, селекционные ворота. Данная система помимо снятия показаний здоровья коров и оказывания управляющих воздействий, таких как изменение рациона, контроль движения, также ведёт расчёт себестоимости молока и календари ветеринарных мероприятий. Система ALPRO от шведской компании De Laval рассчитана на управление стадом до 7 000 голов позволяет контролировать и управлять всеми важнейшими процессами на молочной ферме.

К сожалению, на данный момент во многих хозяйствах уделяется малое внимание потенциалу развития производства, предоставляемого автоматизированными системами управления. Комплексная автоматизация управления стадом введена только на 3–5 % российских молочных фермах, а это всего около 10 % от общего числа фермерских хозяйств в России [5].

Установка данной системы автоматического управления способствует сохранению маточного поголовья и улучшению качества молока до высшего сорта – евростандарт. Также применение системы экономит время и позволяет контролировать эффективность производства [6].

### **Источники**

1. Технология беспривязно-боксового содержания крупного рогатого скота (рекомендации). Чебоксары: КУП ЧР «Агро-Инновации», 2005. 31 с.
2. Рекомендации по переходу с традиционной на беспривязную систему содержания крупного рогатого скота с целью минимизации потерь продуктивности животных в АПК Ленинградской области. Спб.: ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии, 2008. 64 с.
3. АгроТехника и Технологии [Электронный ресурс]: журнал. 2009. № 2. URL: <https://www.agroinvestor.ru/agrotechnika/> (дата обращения: 03.02.2021).
4. Краусп В.Р, Степанов А.Н. Автоматизированная система управления воспроизводством стада КРС // Достижения науки и техники АПК. 2007. № 1. С. 31–32.
5. Новое сельское хозяйство: журнал агроменеджера. 2008. Спецвыпуск. «Современные молочные фермы. Строительство, оснащение и менеджмент».
6. Аграрный эксперт: журнал. 2008. № 1.

## СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ФИЛЬТРОВ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ТЭС

О.В. Радькова<sup>1</sup>, Н.В. Радькова<sup>2</sup>

ОАО «ВТИ», г. Москва

<sup>1</sup>olya-radkova@yandex.ru, <sup>2</sup>radkovan@yandex.ru

Одна из основных проблем экологии в современном мире – это загрязнение атмосферы. Поэтому проблемы экологически чистого использования твердых топлив в настоящее время актуальны во всём мире. В странах Европы, в Китае и США уделяется большое внимание к использованию чистых угольных технологий. В связи с большой долей угля в энергетическом балансе, все больше разрабатываются технологии по очистке дымовых газов, в том числе с помощью рукавных фильтров. В данной статье рассмотрена разработка автоматизированной системы контроля и управления, созданной для экспериментальной установки, которая служит для испытаний рукавных фильтров в системе очистки дымовых газов ТЭС.

**Ключевые слова:** автоматизация, автоматизированные системы управления, рукавные фильтры, очистка дымовых газов, регулятор, датчик.

### Описание стенда

Экспериментальная установка для испытаний рукавных фильтров, применяемых в системе очистки дымовых газов ТЭС, создана и эксплуатируется в ОАО «ВТИ» [1]. В связи с модернизацией стенда, изменением его технологической схемы и состава оборудования возникла задача создания новой автоматизированной системы управления (АСУ), обеспечивающей надежную работу технологического оборудования и удобство работы специалистов-исследователей. Основное оборудование установки размещается в помещении стенда физических процессов в электрофильтрах.

На рис. 1 представлена принципиальная схема установки. Первоначально воздух, поступающий из атмосферы и идущий на установку, проходит через электронагреватель (ЭН). Затем нагретый воздух смешивается с золой с помощью дозатора (Д). Зола подается из бункера золы (БЗ). Далее уже запыленный воздух направляется в испытываемый рукавный фильтр (Ф). В нем происходит фильтрация воздуха от золы.

Затем воздух, прежде чем попасть в кассетный фильтр, проходит через охладитель (ОВ), и остывает. Это делается потому, что кассетный фильтр не рассчитан на высокую температуру рабочей среды. Прокачивается запыленный воздух с помощью газодувки (ГД).

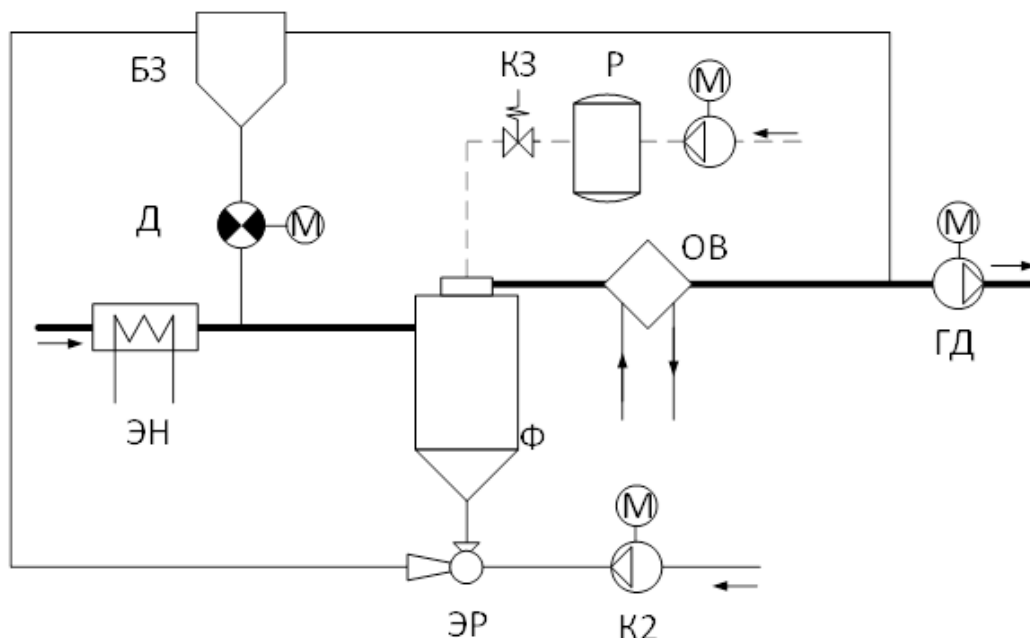


Рис. 1. Принципиальная схема установки

Предусмотрена периодическая импульсная очистка фильтра. Для этого предназначена линия подачи сжатого воздуха, которую обеспечивает компрессор (К1) и ресивер (Р).

В схеме может использоваться контур рециркуляции золы. Отфильтрованная зола попадает в пылесборник (ПС), далее в эжектор рециркуляции ЭР, и, наконец, в бункер золы для последующего использования. Работу линии рециркуляции обеспечивает компрессор (К2).

### Система автоматизации

АСУ экспериментальной установки была разработана сотрудниками отделения автоматизации ОАО «ВТИ». В состав системы вошли:

- контрольно-измерительные приборы (КИП) – датчики технологических параметров (давление, температура, расход);
- микропроцессорные средства контроля и управления;
- электрическая часть – оборудование и аппаратура электроавтоматики.



На втором этапе были подобраны контрольно-измерительные приборы, контроллер и модули ввода-вывода, электрооборудование и др. Оборудование было выбрано, исходя из соотношения «цена/качество», предпочтение отдавалось отечественным производителям. При выборе микропроцессорных средств управления был учтён имеющийся опыт разработки сотрудниками ОАО «ВТИ» автоматизированных систем управления на базе оборудования «ОВЕН» [3].

На 3-м этапе в ходе работы использовалось специализированное программное обеспечение (среда CoDeSys) для программирования, конфигурирования и наладки работы контроллера. На сенсорной панели управления отображается мнемосхема, которая была выполнена в программе «Конфигуратор СП» компании «ОВЕН» (представлена на рис. 3).

Алгоритмы работы оборудования реализованы с помощью графического языка программирования SFC.

Для конфигурирования и наладки работы модулей ввода/вывода использовалась программа «Конфигуратор M110» компании «ОВЕН».

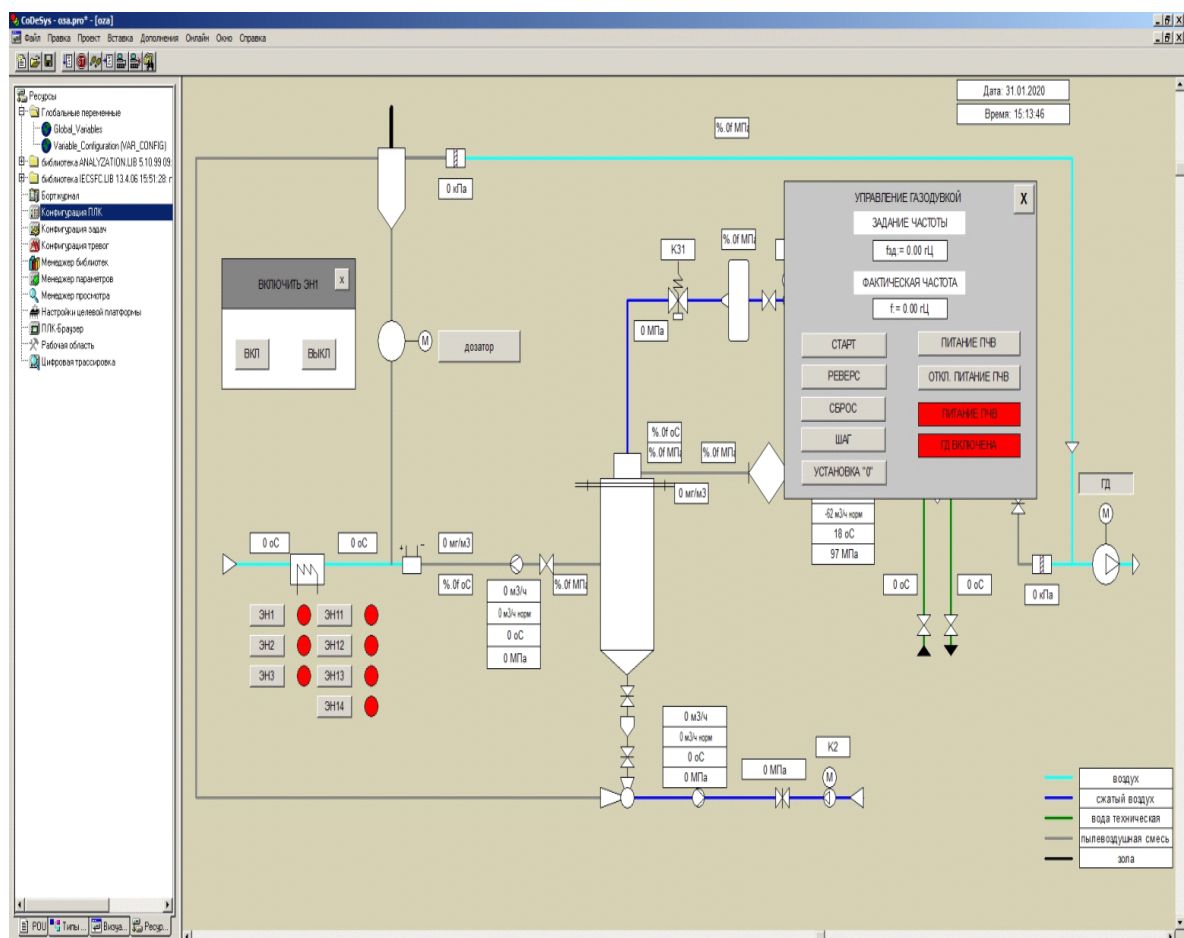


Рис. 3. Мнемосхема системы управления установки

На 4-м этапе в системе были реализованы основные информационные и управляющие функции АСУ:

- контроль параметров;
- отображение информации на экране компьютера и сенсорной панели;
- сигнализация о состоянии оборудования и выхода технологических параметров за допустимые пределы;
- дистанционное управление оборудованием с персонального компьютера, с сенсорной панели управления, а также с кнопок и ключей (резервное управление);
- защиты и блокировки, реализованные как программным путем в контроллере, так и с помощью реле (резервирующие).

При необходимости, в дальнейшем может быть реализовано автоматическое регулирование требуемых параметров (например, частоты вращения или производительности газодувки, ступенчатое регулирование температуры воздуха).

## **Выводы**

1. Был разработан проект и реализована система контроля и управления экспериментальной установкой, предназначенной для испытания рукавных фильтров, применяемых в системе очистки дымовых газов ТЭС. Система автоматического управления реализована на базе современных программно-технических средств, предпочтение отдавалось отечественным производителям.

2. Реализованная система управления обеспечивает надежную работу технологического оборудования и удобство работы специалистов-исследователей.

## **Источники**

1. О возможности применения металлотканевых фильтров в полигенерирующих системах для очистки генераторных газов / В.В. Бондарев [и др.] // Энергетик. 2014. № 9. С. 30–34.

2. ГОСТ Р 58604-2019. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Тепловые электрические станции. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Условия создания. Нормы и требования. М.: Стандартинформ, 2019. 36 с.

3. Полуэктова Е.А. Разработка системы автоматического управления комплексной установкой приготовления и дозирования реагентов // Энергетик. 2015. № 11. С. 57–60.



## ОБЗОР ETHERNET-КОММУТАТОРОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ

Т.Р. Рахматуллин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
rtr.tim@yandex.ru  
Науч. рук. В.В. Плотников

Архитектура РСУ уже давно стала частью промышленных сетей. Несмотря на то, что она постоянно развивается и совершенствуется, и по сей день проблема выбора коммутатора является актуальной по причине множества определяющих характеристик.

**Ключевые слова:** сетевой коммутатор, маршрутизатор.

Развитые АСУП состоят из нескольких уровней автоматизации. Связь между уровнями осуществляется при помощи различных коммутирующих устройств [1]. В статье рассмотрены коммутаторы верхнего уровня. Коммутатор является одним из устройств, использующих сетевую модель OSI.

На верхнем уровне устройства, осуществляющие соединение узлов сети в пределах одного или нескольких сегментов, это маршрутизаторы и коммутаторы, которые работают не только с MAC-, но и с IP-адресами [3]. Также они определяют кратчайшие пути передачи данных, преобразуют логические адреса в физические, сетевые протоколы, протоколы соединения и т. д.

В настоящий момент на рынке присутствует множество компаний, которые производят коммутаторы с разными характеристиками, а значит со своими преимуществами и недостатками. Так компания D-link представляет промышленный неуправляемый коммутатор DIS-100G-5SW, оснащенный четырьмя портами 10/100/1000Base-T, а также портом 1000Base-X SFP, который используется для организации подключения к высокоскоростной магистрали. Работает в широком диапазоне температур от  $-40$  до  $75$  °С, что позволяет использовать коммутатор в неблагоприятных условиях окружающей среды. Поддерживает технологию Plug-and-play, позволяющую подключать к нему устройства без произведения дополнительных настроек, но являясь неуправляемым коммутатором уровня L2, данное устройство не поддерживает IP-протоколы. А также одним из недостатков является возможность использования лишь относительно небольшой таблицы MAC-адресов на 2 000 записей.

Компания MOXA, являющаяся третьей в мире в производстве и разработке оборудования для систем промышленной автоматике, предлагает к продаже управляемый коммутатор EDS-510E-3GTXSFP. Он оснащен 7 разъемами под витую пару и 3 комбинированными разъемами. Работает по многим стандартам, а также поддерживает промышленные протоколы Modbus/TCP, PROFINET IO, EtherNet/IP. Имеет таблицу MAC-адресов на 8000 записей и максимальное количество VLAN, равное 64. Диапазон температур от  $-10$  до  $60$  °C не позволяет использовать коммутатор в неблагоприятных условиях.

Компания Siemens предоставляет управляемый коммутатор уровня L2/3 SCALANCE XM408-4C. Он оснащен 24 портами из них 8 для сетевых компонентов или оконченных устройств, 8 портов RJ45, 4 для приемопередатчика SCP/STP и 4 комбинированных разъема. Также существует возможность подключать до двух модулей расширения портов, тем самым увеличив количество разъемов еще на 16. Поддерживает множество протоколов: HTTP, DCP, BOOTP, FTP и другие. Может выполнять функции статического IP-роутинга и динамической IP-маршрутизации. Число максимальных VLAN составляет 255. Диапазон температур от  $-40$  до  $70$  °C. Недостатком является отсутствие резервированного блока питания, а также степень защиты IP20.

В большинстве систем управления для наилучшего сопряжения промышленных сетей нижнего уровня с «быстрыми» сетями верхнего уровня используются коммутаторы фирм-производителей контроллеров [2]. Однако использование таких систем существенно увеличивает их стоимость.

В целях удешевления системы управления без снижения надежности возможно применение типовых «офисных» коммутаторов.

Преимуществом специализированных коммутаторов, например коммутирующих устройств Siemens AC, является возможность расширения функционала путем конфигурации сети любой сложности (RM, реконфигурация сети до 0,3 с). Основным недостатком таких устройств является высокая цена.

При небольшом бюджете «офисные» коммутаторы придется размещать в специальных защищенных боксах.

Таким образом, выбор коммутатора с определенными характеристиками зависит с одной стороны от требований и функций технологического оборудования, а с другой стороны от финансовых возможностей заказчика.

## Источники

1. Гусев С. Краткий экскурс в историю промышленных сетей [Электронный ресурс] // Компоненты и Технологии. 2001. № 12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kratkiy-ekskurs-v-istoriyu-promyshlennyh-setey> (дата обращения: 10.03.2021).

2. Промышленные сети передачи данных [Электронный ресурс] / Р.К. Нургалиев [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/promyshlennye-seti-peredachi-dannyh> (дата обращения: 10.03.2021).

3. Фролов Д.Ю. Методологические принципы построения промышленных сетей с заданной надежностью [Электронный ресурс] // Транспортное дело в России. 2012. № 6-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologicheskie-printsipy-postroeniya-promyshlennyh-setey-s-zadannoy-nadezhnostyu> (дата обращения: 10.03.2021).

УДК 681.7.08

## ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ БРЭГГОВСКИХ РЕШЁТОК

Д.М. Русин<sup>1</sup>, Ю.А. Блинова<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>333ddesign@mail.ru, <sup>2</sup>blinovaya17@yandex.ru

Науч. рук. В.В. Плотников

Рассмотрены волоконно-оптические датчики, их классификация, принцип действия. Проведён анализ преимуществ по сравнению с датчиками других типов. Представлены особые достоинства датчиков внутри предложенной классификации. Описана функция брэгговских решёток.

**Ключевые слова:** волоконно-оптический датчик, волоконная брэгговская решётка, фазовая модуляция.

Волоконно-оптический датчик (ВОД) – датчик физических величин, где волоконный световод применяется в качестве чувствительного элемента, а также передающей оптическое излучение среды. В котором чувствительный элемент преобразует физическое воздействие в изменение свойств отраженного, прошедшего или рассеянного излучения.

По конструктивным особенностям, а также принципу работы их подразделяют:

– ВОД, где в роли чувствительного элемента выступает само волокно, оптические свойства изменяются под влиянием воздействующих сил;

– датчики с открытым оптическим каналом;

– датчики с волоконно-оптическими связями (ВОС), в которых чувствительный элемент размещается в месте разрыва оптического волокна и непосредственно воздействует на светопередачу;

– интегрально-оптические датчики (ИОС), которые используют планарный световод как чувствительный элемент, который изготовлен методами интегральной оптики. Принцип действия же датчика основан на зависимости вольт-амперной характеристики полупроводникового диода от температуры.

По принципу действия волоконно-оптические датчики делят по параметрам оптической волны, которую измеряют и получают информацию о физическом воздействии: фаза, интенсивность, спектральный, либо модовый состав излучения, состояние поляризации [3].

Наиболее точными считают датчики, действие которых основано на фазовой модуляции света. В таком датчике на световодное волокно воздействуют регистрируемые физические возмущения (температура и др.), которые вызывают изменения фазы проходящего по волокну света. Возникающий сдвиг фазы регистрируется интерферометром. Сенсорные устройства с фазовой модуляцией намного сложнее устройств с амплитудными датчиками, дороже их, однако точность и чувствительность датчиков с фазовой модуляцией гораздо больше.

Волоконная брэгговская решётка (ВБР) – распределённый брэгговский отражатель, сформированный в светонесущей сердцевине оптического волокна [5]. За основу использования взята зависимость резонансной длины волны от температуры световода, а также приложенные к нему сжимающие или растягивающие механические напряжения.

ВБР считаются одними из самых надёжных решений при работе с агрессивными средами, когда датчики используются в экстремальных условиях. Например, известно, что на электростанциях установка ВОД температуры внутри шкафа, работающего под высоким напряжением, выполняется с применением элементов, состоящих из стойких к высокому

напряжению изоляционных материалов, а сама система контроля температуры основана на приёме и передаче сигнала по оптическому волокну, которое обладает полной электро-, взрыво- и пожаро- безопасностью [4]. К недостаткам можно отнести дороговизну прецизионного монтажного оборудования и сложность в прокладке.

Мы считаем, что с точки зрения промышленного применения использование волоконно-оптических датчиков температуры наиболее заманчиво, поскольку они имеют возможность мультиплексирования, т. е. передачу нескольких потоков данных по одному каналу. Это даёт возможность использования в системах автоматического управления. Кроме того, волоконно-оптические датчики обладают прекрасной точностью и чувствительностью, компактны, надёжны, не требуют сложной преобразующей аппаратуры, имеют возможность получения цифрового, а не аналогового сигнала, который упрощает обработку информации, а в случае их серийного изготовления имеют низкую себестоимость [1]. Благодаря тому, что оптоволоконные датчики на основе брэгговских решеток обладают уникальными характеристиками, они применяются во многих областях. Например, аэрокосмической, энергетической и нефтегазовой промышленности, строительстве и геотехнике [2].

### Источники

1. Волоконно-оптические датчики / под ред. Э. Удда; пер. с англ. И.Ю. Шкадиной. М.: Техносфера, 2008. 518 с.
2. Волоконно-оптический термометр как новый элемент мониторинга строительных сооружений / И.В. Рубцов [и др.] // Технологии строительства. 2005. № 1 (35). 3 с.
3. Шишкин В.В., Гранев И.В., Шелемба И.С. Отечественный опыт производства и применения волоконнооптических датчиков // Прикладная фотоника. 2016. Т. 3, № 1. С. 61–75.
4. Беспрозванных В.Г., Зырянов С.В. Совершенствование эксплуатационных характеристик волоконнооптического датчика температуры // Сборник научных трудов SWorld. 2013. Т. 14, Вып. 4. С. 41–44.
5. Дроздов В.С. Оптоволоконные датчики [Электронный ресурс] // Современная техника и технологии, 2015. № 8. URL: <http://technology.snauka.ru/2015/08/7750/> (дата обращения: 04.10.2020).

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ В ТЕПЛИЦЕ

М.Э. Рязанова<sup>1</sup>, М.А. Сафин<sup>2</sup>, И.И. Кузьмин<sup>3</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>milena.ryazanova20@mail.ru, <sup>2</sup>cmvorkut@mail.ru, <sup>3</sup>dangerousrsr@gmail.com

Предложена идея создания АСУ микроклиматом в теплице, с использованием платы Arduino Nano.

**Ключевые слова:** автоматическая система управления, микроклимат, теплица, Arduino Nano.

Системы автоматического управления стали неотъемлемой частью нашей жизни. Добавление таких систем не обошло стороной и современные теплицы. За долгие годы своего существования теплицы многократно усложнялись и совершенствовались, пройдя, таким образом, путь от простейших конструкций до сложных автоматических систем [1].

В настоящее время все чаще стали применяться конструкции с системой автоматического управления, предназначенные для выращивания растений в квартирных условиях. Стало возможным выращивать свой урожай не выходя из дома, что является несравненным плюсом для людей не имеющих земельные участки, необходимого количества времени на уход за потенциальным урожаем и в то же время для тех, кто недоволен качеством зелени, ягод и овощей в магазинах [2].

Создание максимально комфортного микроклимата для выращивания растений подразумевает:

– совместную работу датчиков, поддерживающих наиболее благоприятные для развития данных растений: влажность воздуха, влажность почвы, питание почвы, температуру воздуха, освещение;

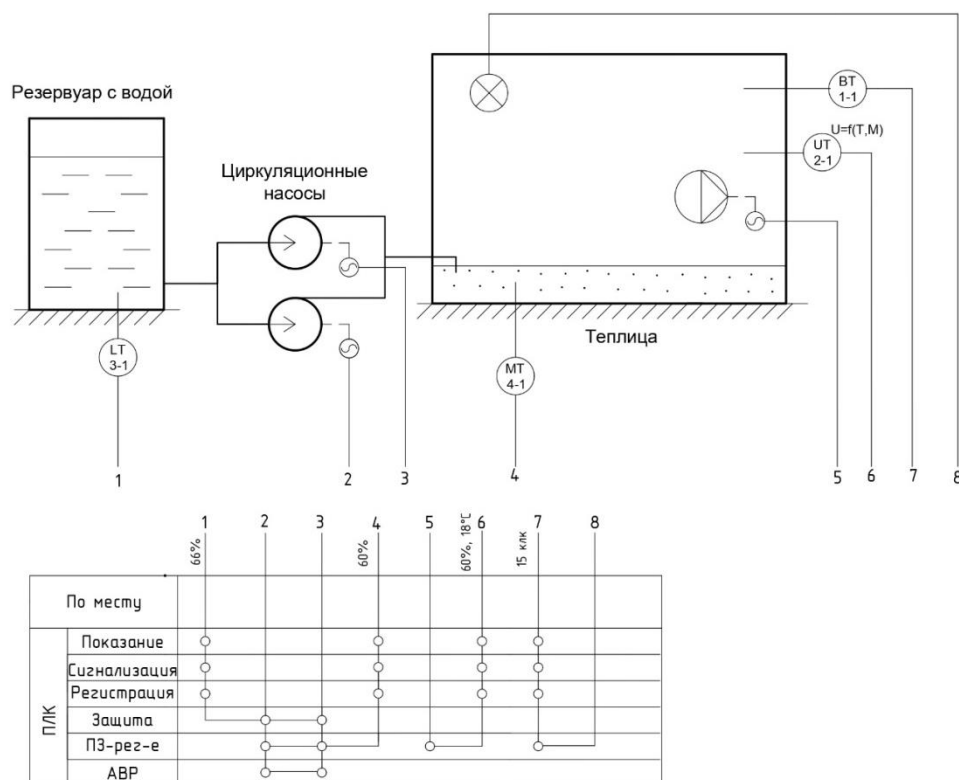
– исполнительных механизмов для поддержания необходимых растениям условий;

– контроллера для управления системой.

Для системы управления была выбрана петрушка, потому что это одна из наиболее распространенных видов зелени, используемая людьми для приготовления различных блюд.

В качестве объекта управления была выбрана теплица 60×20×50 см и снабжена комплектующими.

На рисунке представлена функциональная схема автоматической системы управления микроклиматом в теплице [3].



АСУ микроклиматом в теплице

Для создания автоматической системы управления микроклиматом в теплице были использованы следующие бюджетные комплектующие:

- управляющее устройство – микроконтроллер Arduino Nano;
- датчик влажности почвы FC-28 (4-1);
- датчик влажности и температуры воздуха DHT-22 (2-1);
- фоторезистор GL5528 (1-1);
- датчик уровня ХКС-Y25-V (3-1);
- циркуляционные насосы для полива DC 3-5V;
- модуль реле;
- резисторы;
- макетная плата;
- шланги для полива;
- провода «папа-папа», «папа-мама»;
- резервуар с водой на 2 л.

Также необходимо учитывать, что для получения наилучшего результата при выращивании любого растения необходимо учитывать индивидуальные потребности данного растения.

Так наилучшими условиями для выращивания петрушки являются: рыхлый субстрат, влажность воздуха 60 %, температура воздуха в первые два месяца после высадки должна варьироваться в диапазоне от 15 °С до 20 °С, освещение требуется интенсивностью в 15 клк, полив предпочтительно капельный или нижний, хорошая циркуляция воздуха между растениями, с 20 см слоем земли для необходимого роста корней [4].

В качестве АСУ микроклиматом в теплице была спроектирована система, осуществляющая регулирование влажности почвы, регулирование вентиляции, регулирование температуры воздуха, контроль влажности воздуха, регулирование дополнительной подсветки. Так создается необходимый растениям микроклимат с поддержанием заданных параметров, что позволяет выращивать растения, не выходя из дома.

### Источники

1. Титчмарш А. Умная теплица: ил. справ. СПб.: Петроглиф, 2011. С. 54–76.
2. Фурсенко С.Н., Якубовская Е.С., Волкова Е.С. Автоматизация технологических процессов. Минск: БГАТУ, 2007. С. 6–26.
3. Гильфанов К.Х., Арапов В.А. Проектирование автоматизированных систем: учеб. пособие. Казань: КГЭУ, 2006. С. 12–40.
4. Степура А.В. Домашнее цветоводство. Современная энциклопедия: 5000 ценных советов профессионалов. Ростов н/Д: Бао-Пресс, 2008. С. 379–384.

УДК 004.91

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА И ПОПОЛНЕНИЯ ТОВАРА НА СКЛАДЕ

Д.Д. Скворцов<sup>1</sup>, Д.М. Ишмухаметова<sup>2</sup>  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>danil.skvortsov12@mail.ru, <sup>2</sup>dianka200300400@mail.ru  
Науч. рук. А.С. Марченко

В тезисе поднимается вопрос автоматизированных систем учета и пополнения товара на складе. Перечислены наиболее известные и востребованные системы автоматизации на складах, описан принцип их действия. Выявлены положительные и отрицательные стороны внедрения автоматизированной системы учета на складах. На основе полученных данных была выявлена главная проблема развития этого направления и предложен наиболее рациональный способ ее решения.

**Ключевые слова:** автоматические системы учета, RFID, ASRS.



Склад является наиболее важным объектом любой деятельности, так как в этом помещении хранятся все товары, которые предлагает то или иное предприятие. Поэтому крайне важно проводить постоянный учет отпущенных и принятых товаров, а также своевременно пополнять его. Именно поэтому в современном мире многие крупные компании внедряют автоматизированные склады, используя различные технологии.

Автоматизация работы склада проводится компаниями для максимального упрощения контроля за движениями товаров. Благодаря автоматике можно знать количество товаров каждого артикула, узнать остатки, поступление, отпуск, что позволяет заблаговременно сделать заказ необходимой продукции. Автоматизация склада необходимо крупным или быстро развивающимся компаниям, у которых наблюдается постоянно большой поток продукции.

На сегодняшний день широкое применение получили следующие автоматизированные системы:

1. Система радиочастотной идентификации RFID. В последнее время RFID все чаще применяют именно на складах, т.к. именно там происходит большой оборот информации. Обработка информации с помощью данной системы на складах происходит следующим образом: в помещении склада устанавливаются несколько стационарных RFID-считывателей, которые бесперебойно работают. Обычно таких считывателей ставят от 3 до 10 в зависимости от размеров склада: один считыватель устанавливается на отпуск продукции, один на принятие товара, остальные устанавливаются, покрывая всю площадь склада для отслеживания передвижений товара внутри помещения [1]. Сама продукция маркируется специальными RFID-метками, называемые RFID-тегами, которые содержат в себе полную информацию о товаре и могут быть переписаны для другого товара по мере необходимости. При приближении товара к полю действия считывателя, метка считывается и вся информация о товаре (время, артикул и др.) автоматически отправляется на компьютер. Таким образом происходит фиксация любых передвижений продукции по складу и за его пределами. При снижении количества определенного товара, система автоматически оповещает об этом дежурный персонал склада. Применение таких систем в складских помещениях очень удобно, так как всегда можно узнать где находится любой объект, который имеет RFID-метку.

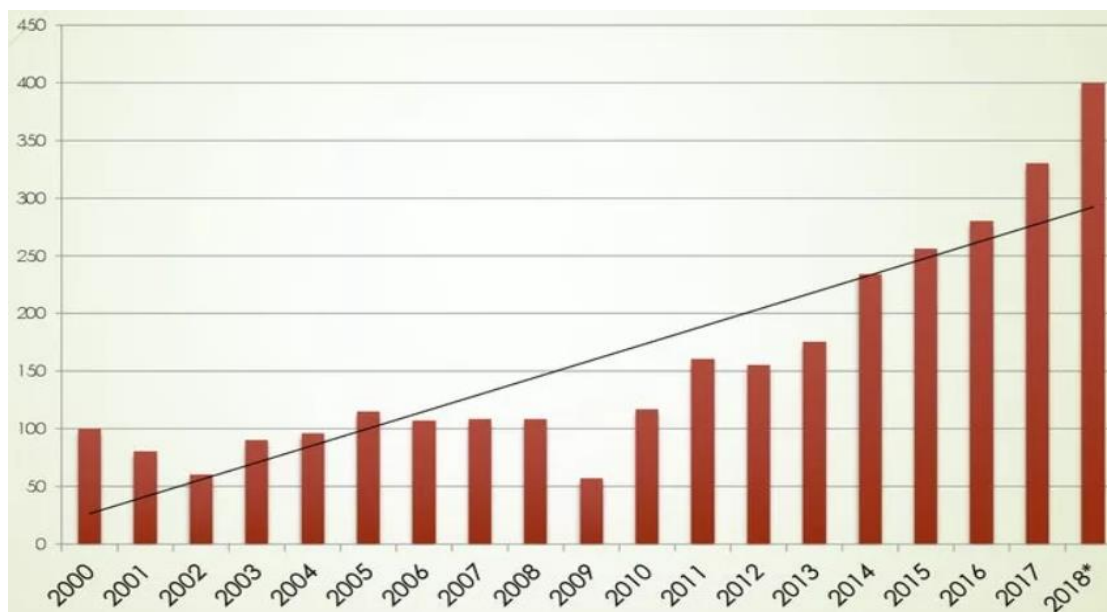
1. Складская система ASRS представляет собой целый комплекс из стеллажей и подъемно-транспортных устройств, который позволяет осуществлять размещение и сбор продукции автоматически, без присутствия человека. Основная работа ложится на специальное программное

обеспечение складского учета, так как они занимаются адресным размещением товаров. Управление данной системы может происходить как в полностью автономном режиме, так и в ручном. Суть работы данной системы заключается в том, что на специальный конвейер система загружает поступившую продукцию, и, считывая штрих-коды с упаковок, она распределяет товары по специально отведенным ячейкам в стеллажах. При необходимости выдачи того или иного товара происходит обратный процесс: специальный робот манипулятор отправляется к необходимой ячейке и достает необходимый товар, который затем поступает на конвейер и отправляется к точке выдачи. Вся информация о товарах поступает на компьютер и в случае недостачи той или иной продукции система оповестит дежурного об этом [2].

3. Карусельная система хранения. Данный тип автоматизированных складских систем предусматривает подвижную конструкцию ячеек для хранения товаров. Все стеллажи разбиты на определенные ячейки, каждая из которых имеет собственный электрический привод и управление. В каждой ячейке предусмотрено специальное место для выгрузки или загрузки товара, а также каждая ячейка оснащена сканером, который сканирует все прибывшие и отпущенные товары и отправляет всю информацию на компьютер. Но эта система не может работать полностью автоматически и не может оповещать сотрудников склада о уменьшении количества того или иного товара.

4. Лифтовая система хранения. Автоматизированные системы складского хранения товаров лифтового типа построены по типу классических стеллажей. Для перемещения товаров по ним служит специальное подъемно-транспортное устройство (челнок), перемещающееся вдоль полок по направляющим. Преимуществом лифтовых стеллажей является их блочный характер, что подразумевает возможность быстрого масштабирования в длину и высоту. Размер ячеек и механизм захвата также может быть изменен путем простой модернизации или даже программирования. Поэтому ASRS лифтового типа особо популярны на универсальных складах, где размеры тары могут со временем меняться.

Анализ рынка показал, что внедрение и активное применение автоматизированных систем на складах началось лишь в 2010 г. (см. рисунок). Связано это с тем, что в 2008-2009 годах произошел технический прорыв и внедрение искусственного интеллекта во многие отрасли. Начиная с 2012 г. происходит постоянное увеличение числа автоматизированных складов, что подтверждает перспективность и востребованность подобных технологий по всему миру [3, 4].



Статистика внедрения автоматизированных складов

В заключении следует отметить, что внедрение автоматизированных систем для учета товаров на складах давно не новое явление, но до сих пор не каждая компания может позволить себе использование таких систем у себя на складах. Несмотря на это, автоматизированные системы имеют огромный потенциал, и, с развитием технологий и увеличением сбыта товаров, будут, несомненно, развиваться. Основной проблемой любой системы автоматического учета является его завышенная стоимость. Решением этой проблемы является применение альтернативных, но более дешевых материалов при конструировании данных систем, а также разработка и создание собственных систем автоматизации, что позволит повысить конкуренцию на рынке и еще больше снизить цену.

### Источники

1. Вендров А.М. Проектирование программного обеспечения информационных машин и систем. М.: IP-Медиа, 2017. С. 304–306.
2. Баламирзоев Н.Л. Проблемы внедрения информационной системы управления предприятием. СПб.: Питер, 2019. С. 155–160.
3. Улыбина Ю.Н. Искусство управления складом. М.: Финансы и статистика, 2018. С. 544–548.
4. Автоматизация склада: как автоматизировать работу и бизнес – процессы склада [Электронный ресурс]. URL: <https://kazan.1cbit.ru/blog/avtomatizatsiya-sklada-kak-avtomatizirovat-rabotu-i-biznes-protsessy-sklada/> (дата обращения: 25.02.21).

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЧЕТВЕРТОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Д.А. Султанова<sup>1</sup>, А.З. Хакимова<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>diana-sultanova-2001@mail.ru, <sup>2</sup>al.mit\_17@mail.ru, <sup>3</sup>nv\_voronina@mail.ru

Науч. рук. Н.В. Богданова<sup>3</sup>

Поднимается вопрос четвертой промышленной революции: приведено определение этого понятия, говорится о предыдущих промышленных революциях. На основе анализа выделены три наиболее важных блока развития современных технологий: физический, биологический и цифровой. Приводится ряд весомых недостатков, которые последуют за четвертой промышленной революцией. Говорится об отраслях, в которые невозможно внедрить автоматизацию.

**Ключевые слова:** промышленная революция, автоматизация, современные технологии.

Четвертая промышленная революция – это своего рода средство для повышения конкурентоспособности промышленности, которая заключается в применении новейших автоматизированных систем, которые также называют «киберфизическими системами». Впервые о четвертой промышленной революции заговорил в 2011 г. на Всемирном экономическом форуме в Давосе Клаус Шваб. По его мнению, четвертая промышленная революция – это переход на полностью автоматизированное производство, которое управляется специальными интеллектуальными системами в реальном времени.

Предпосылкой четвертой научно-технической революции явилось распространение интернета по всему земному шару. Это привело к глобальным изменениям в жизни человеческого общества: обеспечении промышленного производства, экономике, всемирном рынке финансов и труда, возможностях и тематике публикаций СМИ и т. д.

Очередная промышленная революция вновь поменяла жизнь всего человечества, как это было уже неоднократно в его истории [1].

Первая промышленная революция произошла на рубеже 18–19 вв. и охарактеризовалась переходом от аграрной экономики к промышленному производству в результате создания и успешного применения паровых машин, механических устройств и развития металлургии.

Вторая промышленная революция на рубеже 19–20 вв. была спровоцирована открытием электричества. На фоне этого произошел резкий скачок в развитии многих отраслей, его возможностей, мощностей, объемов и качества, а также появилось поточное производство и разделение труда.

Третья промышленная революция произошла в 70-х гг. 20 в. в результате внедрения в производство электронных систем, которые обеспечивали его частичную автоматизацию и роботизацию.

Таким образом, мы можем проследить поэтапное взаимосвязанное развитие науки, техники, технологий и человеческого общества [3].

На сегодняшний день выделяют три блока важнейших технологий, получивших мощное развитие в ходе четвертой революции.

**Физический блок.** К данной группе относят такие технологии, как 3D-печать, беспилотные летательные аппараты, робототехника, создание новейших материалов. Особое внимание сейчас уделяется именно разработке новых материалов, которые должны быть более легкими, прочными, адаптивными и, что является чрезвычайно актуальным в современном обществе, пригодными для повторного использования. К таким материалам относят, например, графен.

**Биологический блок.** Большой прорыв был сделан в области расшифровки ДНК, что позволило медикам, например, заблаговременно определять возможные заболевания людей и успешно лечить их. Также сегодня многие компании работают над исследованиями в области активации или исправления генов человека, что позволит создать поистине сверхлюдей, которых ранее мы могли наблюдать только лишь в фильмах [2].

**Цифровой блок.** Данная группа технологий направлена на создание взаимодействия между продуктами, услугами, местами их нахождения и людьми, то есть персоналом и потребителями, с помощью различных платформ и технологий. Развитие этого блока является неизбежным и необходимым на всех его уровнях, начиная с обычных датчиков.

Анализ возможностей и особенностей четвертой промышленной революции позволил нам сделать следующие выводы.

Максимизация плюсов четвертой промышленной революции требует массивных коопераций между различными компаниями и своеобразного разрушения границ между ними, так как подразумевает внедрение общих платформ и языков, на которых свободно будут общаться машины разных компаний. При отсутствии подобных коммуникаций, например, может возникнуть ситуация, когда какой-либо продукт одной компании прибывает на конвейер другой компании, который не сможет считать его RFID-метку, потому что она запрограммирована на другой частоте, и производственный процесс остановится до вмешательства человека.

Развитие технологий повышает требования к безопасности. Создание безопасных сетей – сложная задача, а интеграция физических систем с использованием интернетом делает их более уязвимыми к кибернетическим атакам. С ростом современной индустрии в ходе четвертой промышленной революции производственные процессы стало возможным терроризировать удаленно, манипулируя протоколом производства или просто парализуя процесс. По мере повышения степени автоматизации производств и направлений их безопасность будет становиться все более злободневным вопросом.

С течением времени промышленная революция охватит все отрасли производства, что, возможно, приведет к полной автоматизации. Этот процесс призван значительно упростить и повысить качество жизни общества, увеличить объемы производства и потребления. Но, несмотря на это, существуют и будут существовать отрасли, в которых внедрение автоматизированных технологий является спорным вопросом, требующим обсуждения и рассмотрения всем обществом в целом, а также отдельными его категориями и даже гражданами.

Цифровизация в системах образования и здравоохранения в настоящее время рассматривается как шаг вперед, который позволит «дотянуться» до самых удаленных потребителей такого рода услуг. Но давайте зададимся вопросом: возможна ли замена живого участия человека в процессе обучения или исцеления? Несмотря на все достоинства, готово ли современное общество полностью стать цифровым, автоматизированным?

На наш взгляд, ответом на эти вопросы может стать возможность выбора каждого человека, в зависимости от его личных потребностей, особенностей, желаний. И оспорить эту возможность должно быть немыслимо и неприемлемо для общества.

### **Источники**

1. Бродель Ф. Время мира. Материальная цивилизация, экономика и капитализм 15–18 веков. М.: Прогресс, 2019. С. 98–100.
2. Муртазина Э.М. Исследование новых форм жизни // Вестник казанского технологического университета, 2012. Т. 15, № 8. С. 217–221.
3. Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо, 2016. С. 424–425.

## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЭКОВАТЫ

М.О. Уткин, А.Ф. Зиангиров, М.М. Фархутдинов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
209maks@mail.ru  
Науч. рук.: В.А. Рукавишников, А.Н. Богданов

Рассматривается создание установки по измельчению и дальнейшему выдуву эковаты. Процесс создания данной установки происходит с помощью автоматизированной системы автоматизированного проектирования Autodesk Inventor 2020. Акцентируется внимание на системах управления и контроля процесса перемолки, а также предварительной расцепки спрессованных брикетов эковаты. Дополнительно в проекте создана система управления установкой с метсным и дистанционным контролем, подготовлена документация для выпуска промышленного образца.

**Ключевые слова:** Autodesk Inventor 2020, шредер для эковаты, САПР, автоматизированная система управления.

При строительстве зданий как общепромышленного так и гражданского назначения важнейшей задачей является его теплоизоляция, от качества и долговечности которой зависит не только комфорт, но и расходы на отопление, обслуживание и утилизацию. Все более популярным теплоизоляционным материалом становится эковата. К неоспоримым достоинствам данного утеплителя можно отнести:

- высокие теплоизоляционные свойства;
- монолитная структура;
- высокие показатели звукоизоляции;
- устойчивость к воздействию влаги;
- экологическую безопасность. Утеплитель не содержит токсинов и других вредных веществ, представляющих опасность для человека и окружающей среды;
- устойчивость к биологическим воздействиям;
- высокую степень пожарной безопасности. В состав входит бура, представляющая собой эффективный антипирен;
- долгий срок службы (до 60 лет).

Существенными недостатками эковаты можно считать следующие моменты:

- отсутствие стабильности в теплоизоляционном слое;
- требование спецоборудования для укладки;

- недостаточная жесткость;
- необходимость в защите от перегрева [1].

Далее, рассмотрев основные характеристики материала, перейдем к описанию установки.

Согласно техническому заданию, необходимо было разработать выдувную установку для эковаты, подготовить электронные модели изделия, а также конструкторскую документацию. Дополнительными областями проектирования стала разработка системы управления на электромеханических реле, модернизация существующего шредера и подготовка спецификаций для закупки.

Основным САПР используемым в проекте выступал программный продукт Autodesk Inventor версии 2020 г. от компании «Autodesk» [2].

Машина выполненная в ходе проектирования относится к классу высокопроизводительных выдувных установок и сравнима по мощности с австрийской моделью МН-500 (см. рисунок), однако в отличие от нее имеет более эффективную систему перемолки эковаты и улучшенные массогабаритные показатели. Дополнительно, установка построена на 90 % из отечественных компонентов.



Выдувная машина МН-500

Основные отличия нашей модели от зарубежных аналогов заключаются в наличии двух вентиляторов выдува повышенной мощности, собственная система дистанционного управления, а также повышенная ремонтпригодность изделия. Аппарат можно использовать для утепления больших объектов жилого и промышленного предназначения. Возможно наносить слой до 40 см за один проход. Для транспортировки требуется использовать грузовой фургон или автомобиль. Установка представляет из себя модульную конструкцию, поэтому сборочный процесс может быть разделен на 3 и более этапов, что облегчает серийный выпуск изделия.



Работа по проектированию была выполнена в дистанционном формате с применением облачных технологий, что позволило инженерам из разных регионов России объединиться работая над данным проектом.

Данный опыт применения цифровых и прикладных способов проектирования активно используется в Казанском Государственном Энергетическом Университете [3].

### Источники

1. «Эковата. Что это такое? Плюсы и минусы» [Электронный ресурс]. URL: <https://masterok-remonta.ru/sovety-po-stroitelstvu/ekovata-plyusy-i-minusy.html> (дата обращения: 12.02.2021).

2. «Make anything» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autodesk.ru/> (дата обращения: 03.11.2020).

3. Смирнова Л.А., Мусин Д.Т., Сиразутдинов Ф.Р. Об опыте использования цифровых технологий в научно-исследовательской работе студентов-энергетиков // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: традиции и инновации. 2016. Т. 1. С. 321–325.

УДК 62-523.6

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СУБЛИМАЦИОННОЙ МАШИНОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА КОСВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВАКУУМА

И.А. Халлыев<sup>1</sup>, И.М. Газизуллин<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ezker@mail.ru

Науч. рук. К.Х. Гильфанов

Целью данной работы является разработка автоматизированной системы управления сублимационной машиной с применением методов косвенного определения вакуума. Сублимационная сушка пищевых продуктов является наиболее оптимальным методом их консервирования с сохранением их полезных свойств, внешнего вида размеров, цвета, запаха, вкуса и т. д. Применение предлагаемого метода косвенного определения вакуума позволит снизить себестоимость кухонной сублимационной машины.

**Ключевые слова:** сублимационная машина, косвенное определение вакуума, камера сублимации, температура водяного льда.

Одним из основных задач современного этапа развития науки и техники является повышение уровня технологии производства и, в частности, разработка новых методов обработки материалов и продуктов, обеспечивающих высокие качественные и техникоэкономические показатели[1].

В направлении консервирования продуктов, предназначенных для длительного складирования, важной задачей является изыскание новых прогрессивных методов обезвоживания влажных материалов.

Сублимационная сушка – это удаление влаги из замороженных материалов путем возгонки (сублимации) льда, т. е. непосредственного перехода его в парообразное состояние, минуя жидкую фазу.

Использование данного метода позволяет сохранить изначальные свойства продуктов, подвергаемых консервированию: внешний вид, размеры, цвет, запах, вкус, содержание витаминов, ферментов и экстрактивных веществ

Технологические установки для производства сублимационной сушки пищевых продуктов называются сублимационными машинами или сублиматорами (рис. 1).



Рис. 1. Промышленная вакуумная сублимационная машина.

Классическая конструкция сублимационной машины включает в себя:

- металлическую раму;
- камеру сублимации;

– десублиматор – часть установки для производства сублимационной сушки, которая необходима для конденсирования испаряющихся паров из пищевых продуктов;

– полки с электрическим или водяным нагревом;

– сливной канал и ручной клапан для разгрузки десублиматора;

– отсек с водяным контейнером, в который поступает вода после разморозки десублиматора по завершению каждого цикла сублимации.

Основными пользовательскими характеристиками сублимационной машины являются: объём десублиматора, суммарная площадь полок, номинальная электрическая мощность.

Данные величины напрямую указывают на допустимую массу загружаемого продукта и затраты на электричество в рамках одного цикла сублимации.

Исходя из перечисленных характеристик, наиболее популярными являются промышленные и бытовые сублимационные машины (рис. 2).

Системы автоматизированного управления бытовых и кухонных сублимационных машин (рис. 3) являются практически идентичными. С учётом того, что апробация основной научной новизны данной работы будет производиться на кухонной сублимационной машине – детально разберём её систему автоматизированного управления.



Рис. 2. Бытовая сублимационная машина «СБ-2.0»



Рис. 3. Кухонная сублимационная машина

Система автоматического управления как бытовой, так и кухонной сублимационной машиной, реализована на базе микроконтроллерной техники. Блок управления (рис. 4) реализован на «Arduino Mega 2560», который является представителем семейства микроконтроллеров Arduino,

и обладает необходимой производительностью и надежностью для данного проекта. Верхний уровень автоматизации реализован на сенсорной панели «Nextion» с 7 дюймовым экраном.



Рис. 4. Блок управление и экран приветствия «СБ-2.0»

Для уменьшения себестоимости кухонной сублимационной машины, при этом, сохраняя надежность её функционирования, предлагается использовать метод косвенного определения вакуума. В основе метода заложено пропорциональное снижение температуры воды с падением давления в камере сублимационной машины.

Известно, что температура водяного льда зависит от давления. При этом выявлена зависимость температуры водяного льда, который образовался при снижении давления в камере (см. таблицу и рис. 5).

Зависимость температуры водяного льда от давления в камере сублимации

Целые доли °С	Десятые доли °С									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
-39	14,40	14,20	14,00	13,80	13,70	13,50	13,40	13,30	13,10	13,00
-38	16,10	15,90	15,70	15,50	15,40	15,20	15,00	14,90	14,00	14,50
-37	17,90	17,70	17,50	17,30	17,20	17,00	16,80	16,60	14,70	16,20
-36	20,00	19,80	19,60	19,40	19,20	19,00	18,80	18,50	16,40	18,10
-35	22,30	22,10	21,80	21,60	21,40	21,10	20,90	20,70	18,30	20,20
-34	24,90	24,60	24,30	24,10	23,80	23,60	23,30	23,10	20,50	25,60
-33	27,70	27,40	27,10	26,80	26,50	26,20	26,00	25,70	22,80	25,10
-32	30,80	30,50	30,10	29,80	29,50	29,20	28,90	28,60	25,40	28,00
-31	34,20	33,90	33,50	33,10	32,80	32,50	32,10	31,80	28,30	31,10
-30	38,00	37,60	37,20	36,80	36,40	36,10	35,70	35,30	31,40	34,70

## Окончание таблицы

Целые доли °С	Десятые доли °С									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
-29	42,20	41,70	41,20	40,80	40,40	40,00	39,60	39,20	34,90	38,40
-28	46,70	46,20	42,60	45,70	45,30	44,80	44,30	43,80	43,40	43,00
-27	51,70	51,20	50,70	50,10	49,60	49,10	48,60	48,10	47,60	47,20
-26	57,20	56,60	56,10	55,90	54,90	54,40	53,80	53,30	52,80	52,20
-25	63,20	62,60	62,00	61,40	60,70	60,10	59,50	58,90	58,40	57,80
-24	69,80	69,10	68,50	67,80	67,10	66,50	65,80	65,10	64,50	63,90
-23	77,10	76,30	75,60	74,80	74,10	73,40	72,70	71,90	71,20	70,50
-22	85,10	84,20	83,40	82,60	81,80	81,00	80,20	79,40	78,60	77,80
-21	93,70	92,80	91,90	91,00	90,10	89,20	88,40	87,50	86,70	85,80
-20	103,2	102,7	101,2	100,2	99,30	98,30	97,30	96,40	95,50	94,60
-19	113,5	112,4	111,4	110,3	109,3	108,2	107,2	106,2	105,2	104,2
-18	124,8	123,6	122,5	121,3	120,2	119,0	117,9	116,8	115,7	114,6
-17	137,1	135,8	134,6	133,3	132,1	130,8	129,6	128,4	127,2	129,6
-16	150,5	149,1	147,8	146,4	145,0	143,7	142,3	141,0	139,7	138,4
-15	165,1	163,6	162,1	160,6	159,1	157,7	156,2	154,8	153,4	151,9
-14	181,0	179,4	177,7	176,1	174,5	172,9	171,3	169,7	168,2	166,6
-13	198,3	196,5	194,8	193,0	191,2	189,5	187,8	186,1	184,4	182,7
-12	217,2	215,2	213,2	211,3	209,4	207,5	205,6	203,8	202,0	200,1
-11	237,5	235,4	233,3	231,2	229,2	227,1	225,1	223,1	221,1	219,1
-10	259,7	257,4	255,1	252,8	250,6	248,4	246,2	244,0	241,8	239,6
-9	283,7	281,2	278,7	276,3	273,8	271,4	269,0	266,6	264,3	262,0
-8	309,7	307,0	304,3	301,6	299,0	296,4	293,8	291,3	288,7	286,2
-7	337,9	335,0	332,1	329,2	326,3	323,6	320,7	317,9	315,2	312,4
-6	368,4	365,2	362,1	359,0	355,9	352,9	349,8	346,8	343,8	340,8
-5	401,4	398,0	394,7	391,2	387,9	384,6	381,3	378,0	374,8	371,6
-4	437,1	433,4	429,7	426,1	422,5	418,9	415,4	411,8	408,3	404,9
-3	475,6	471,7	467,7	463,8	459,9	456,0	452,2	448,4	444,6	440,8
-2	517,3	513,0	508,7	504,4	500,2	496,1	491,9	487,8	483,7	479,7
-1	562,2	557,5	552,9	548,3	543,8	539,3	534,8	530,4	526,0	521,6
0	610,6	605,6	600,7	595,7	590,8	586,0	581,1	576,3	571,6	566,9

Примечание. Давление насыщенного водяного пара над поверхностью водяного льда приведено в Па.

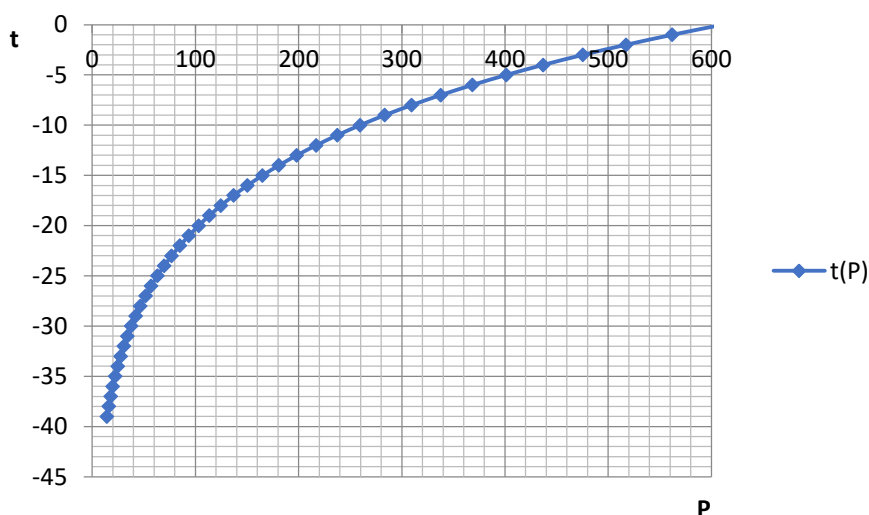


Рис. 5. Зависимость температуры водяного льда от давления в камере сублимации

### Источники

1 Семенов Г.В., Краснова И.С. Сублимационная сушка пищевых продуктов. М.: ДеЛи плюс, 2018. 291 с.

УДК 004.056.5

## ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Д.А. Хлебников

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

daniel.breadly@gmail.com

Представлены два направления обеспечения безопасности современных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) и их характерные черты.

**Ключевые слова:** информационная безопасность, автоматизированные системы управления технологическими процессами, анализ технического состояния.

На протяжении последнего десятилетия актуальность проблемы безопасности АСУ ТП лишь возрастает.

Интерес к проблеме информационной безопасности резко подскочил после атак с использованием компьютерных вирусов Stuxnet, Duqu, Flame [1].

Как раз в течение последних 7-10 лет в структуре и используемых программно-аппаратных средствах АСУ ТП произошли немаловажные изменения. Использование более продвинутого и современного программного обеспечения (ПО) принесло как немаловажные преимущества, так и довольно серьёзные уязвимости. Включение в АСУ ТП компьютеров с доступом в Интернет увеличивает уязвимость всей системы в разы [1].

Развитие АСУ ТП в современном исполнении, введение и применение широко распространенных технологий позволяет потенциальному нарушителю эксплуатировать уязвимости, характерные не только для АСУ ТП, но и другие, свойственные любым сетевым инфраструктурам на основе технологии Ethernet [2].

В АСУ ТП в защите в первую очередь нуждается информация о параметрах системы, контрольно-измерительная информация, критическая информация (определяемая исходя из специфики АСУ ТП). Наряду с ней атакам может подвергаться аппаратно-программное обеспечение защищаемой системы, в том числе АРМ, серверы, коммутационное оборудование, программируемые логические контроллеры (PLC), программное обеспечение (ПО) и средства защиты информации (СЗИ) [3, 4].

Современные решения и предложения по обеспечению информационной безопасности АСУ ТП.

#### 1. Современные средства обеспечения доступности.

Среди современных средств обеспечения доступности необходимо выделить отечественные программные комплексы РИСК и CRISS 4.0. Они производят анализ надежности типовых каналов контроля и управления, а также общих показателей отдельных подсистем АСУ ТП на основе метода деревьев отказов/событий и реализуют технологии приближенного вычисления вероятностных показателей. Более развитым является программное средство ПК АРБИТР, автоматизирующее аналитический общий логиковероятностный метод при расчете показателей надежности, стойкости и живучести АСУ ТП.

Среди зарубежных решений обеспечения доступности и определения оптимальных параметров АСУ ТП наибольшую популярность получило модульное программное средство RELEX (США), реализующее такие методы математического моделирования, как логико-вероятностные методы деревьев отказов, блок-схем, а также Марковские методы моделирования. Наибольшее распространение на объектах атомной промышленности получил программный комплекс RISK SPECTRUM (Швеция) как средство вероятностного анализа АСУ ТП на стадии проектирования [3, 4].

2. Использование системы анализа технического состояния промышленного объекта.

Задача системы анализа технического состояния промышленного объекта до получения информации оператором – выявлять отклонения в работе АСУ ТП.

В отличие от средств обеспечения доступности, данная система динамически анализирует информацию, распознаёт нештатную ситуацию и принимает соответствующие меры по решению стоящей проблем и устранению поставленного риска. Кроме того, такая система обладает свойством интеллектуальности и настраивает себя под настоящую ситуацию, а также с целью предотвращения новой потенциальной нештатной ситуации. Такое свойство адаптивности – её основное преимущество [3, 4].

3. Унификация используемых средств обеспечения доступности и своевременное перераспределение ресурсов системы.

Одним из решений этой проблемы может служить использование в качестве составной части АСУ ТП системы анализа технического состояния промышленного объекта. Разработка системы требований к безопасности АСУ ТП, вносит правила категорирования в существующие и вновь разрабатываемые АСУ ТП. Кроме того, она решает проблему выбора методов и средств борьбы с компьютерными атаками, а также отсутствия на предприятиях организационно-распорядительной документации, регламентирующей построение системы защиты АСУ ТП.

Однако такая система не отражает методологию обеспечения безопасности таких отдельных свойств информации, как, например, доступность, что значительно затрудняет реализацию предъявляемых требований [3, 4].

Таким образом, современные общие решения в сфере информационной безопасности автоматизированных систем управления технологическими процессами представляют собой синтез применения как пассивных методов обеспечения безопасности, так и динамических систем предотвращения и защиты от различного рода внешних атак на АСУ ТП.

### **Источники**

1. Пищик Б.Н. Безопасность АСУ ТП // Вычислительные технологии. 2013. Т. 18, S1. С. 170–175.

2. Безопасность АСУ ТП в цифрах [Электронный ресурс] / Е. Дружинин [и др.]. URL: <https://www.ptsecurity.com/upload/corporate/ru-ru/analytics/ICS-Vulnerability-2016-rus.pdf> (дата обращения: 27.01.2021).



3. Чернов Д.В., Сычугов А.А. Формализация модели нарушителя информационной безопасности АСУ ТП // Известия ТулГУ. Технические науки. 2018. № 10. С. 22–27.

4. Чернов Д.В., Сычугов А.А. Современные подходы к обеспечению информационной безопасности АСУ ТП // Известия ТулГУ. Технические науки. 2018. № 10. С. 58–64.

УДК 004.9

## АСПЕКТЫ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ

И.В. Холмогоров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ivanxolmogorov@gmail.com

Науч. рук. В.В. Плотников

Рассмотрены технологические, экономические и другие эффекты от внедрения цифровых технологий в энергетическую промышленность. Причиной качественного реформирования данной отрасли является возрастающая с каждым годом потребность в электроэнергии. Рассмотрены перспективы развития технологий блокчейна, интернета вещей, искусственного интеллекта для эффективной работы энергетического сектора экономики.

**Ключевые слова:** цифровизация экономики, электропотребление, цифровые технологии, энергетический рынок, блокчейн, интернет вещей.

В наше время в мире энергетика переходит на новый этап развития. Уже к 2035 г. спрос на потребление электроэнергии увеличится на 50 %. Проблема непрерывной и бесперебойной работы электросетей остается нерешенной во всём мире, даже в относительно благополучных в этом смысле странах 100%-ной отказоустойчивости сетей достичь не удаётся. В США этот показатель составляет 99,97 %, всего несколько сбоев за год могут привести к убыткам в \$100–150 млрд [2]. В Германии с 2011 г. идёт активное финансирование программы «Индустрия 4.0», главным признаком которой является полностью автоматизированные производства. С 2011 г. в Японии работает Национальный институт продвижения цифровой экономики и цифрового общества (Japan Institute for Promotion of Digital Economy and Community, JIPDEC).

С 2017 г. в России также формируется и реализуется политика перехода к цифровой экономике, в том числе в электроэнергетике. Для достижения эффекта от цифровизации необходимо объединить усилия всех сторон: государства, компаний, науки. Основным документом стратегического развития является указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 г.» [5]. В декабре 2016 г. была создана ассоциация интернета вещей (АИВ, официальное название «Ассоциация участников рынка интернета вещей») по инициативе Фонда развития интернет-инициатив и МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Основные причины необходимости технологического и инновационного развития систем производства и передачи электроэнергии:

- нехватка квалифицированных кадров;
- незадействованный ресурс мощностей;
- износ имеющегося оборудования;
- нестабильность нынешних цен на энергоресурсы;
- рост требований к качеству и надежности электроснабжения [3].

Цифровизация данной отрасли подразумевает введение «умных» сетей, создание взаимосвязей между поставщиками и потребителями электроэнергии за счет новых технологий. На данный момент цифровые технологии набирают всё большую популярность. К ним можно отнести блокчейн, виртуальную реальность, аналитику больших данных, интернет вещей, искусственный интеллект.

Блокчейн – это цепочка блоков, распределённая база данных, у которой устройства хранения данных не подключены к общему серверу. Ни один узел не может стереть или изменить информацию из базы данных. Узлы или компьютеры могут только просматривать записи.

При использовании технологии “blockchain”, энергетический сектор получает возможность:

- создавать децентрализованное хранилище данных для повышения безопасности;
- совершать сделки, проверять и заключать транзакции;
- напрямую подключать производителей к получателям и тем самым децентрализовать систему торговли энергией. Потребители могут управлять данными договоров, которые определяют условия потребления электроэнергии.

Виртуальная и дополненная реальность сейчас ассоциируется с видеоиграми и развлечениями, но технология VR/AR имеет огромный потенциал в профессиональной сфере. Компании заинтересованы в новых методах корпоративного обучения. Виртуальную реальность можно применять при обучении медиков, энергетиков, инженеров.

Аналитика больших данных (*Data Driven Decision*) – обозначение крупных объемов структурированных, а также неструктурированных данных – для эффективной обработки требует горизонтально масштабируемых программных инструментов. Они появляются в конце 2000-х гг. и являются альтернативой традиционным системам управления базами данных. Однако данных с каждым днем становится все больше, и программное обеспечение не способно проанализировать такие размеры данных. Обработкой огромных массивов информации занимаются специальные компьютеры (в будущем квантовые) с применением облачного хранилища, искусственного интеллекта. В результате человек получает обработанные и максимально понятные данные, контролирует процессы, принимает решения. Но есть и опасность утечки данных, которая может нанести немалый ущерб.

Интернет вещей (англ. *internet of things, IoT*) – система физических устройств, транспортных средств, бытовой техники и других предметов, встраиваемых в электронику, программное обеспечение, датчики, приводы, которые обеспечивают связь между объектами и обмен данными [1]. «Умное» функционирование производителя должно проводиться совместно с цифровизацией потребителя. Уже сейчас технология IoT-устройств внедрена во многие виды техники (розетки, системы кондиционирования, выключатели, чайники), которые можно использовать как в квартирах, так и на предприятиях для дистанционного запуска [4]. Определенно, данная тенденция отражается на потреблении электроэнергии. Разновидностью IoT является промышленный интернет вещей (*Industrial Internet of Things, IIoT*). Он открывает прямую дорогу к созданию полностью автоматизированных производств. Сбор данных с датчиков и последующая их обработка позволяет создавать интеллектуальную сеть, тем самым выявлять время простоя, что поможет сократить расходы на техническое обслуживание и наиболее эффективно использовать энергию.

Термин искусственного интеллекта (ИИ, *artificial intelligence AI*) представляет множество дисциплин из области программного обеспечения, особенностью которого является обучаемость. Применение ИИ в электроэнергетике позволяет формировать режим работы электросетей, планировать работу топливных электростанций. При использовании возобновляемых источников энергии, искусственный интеллект с помощью нейросетей может обработать данные со спутников, погодную карту, данные метеостанций, что необходимо для эффективной работы солнечных и ветряных электростанций.

Внедрении цифровых технологий в энергетику повышает производительность работников самой отрасли, уменьшает влияние человеческого фактора, но влечет за собой сокращение персонала из-за автоматизации. Поэтому нужна переквалификация кадров при работе в новых условиях.

Однако цифровизация экономики имеет не только положительные стороны, существует несколько «узких» моментов. Блокчейн, интернет-экономика уже сейчас требуют значительного энергопотребления. Кроме того, меняется его график, который становится «рваным», что требует более эффективного регулирования генерирующих мощностей и, как следствие, более маневренных энергетических машин.

В заключении можно отметить, что тенденция модернизации энергетической промышленности является важной задачей для России и всего мира, так как устаревшие способы в будущем не смогут соответствовать потребностям быстроразвивающегося мира цифровых технологий.

### **Источники**

1. Грингард С. Интернет вещей: Будущее уже здесь. М.: Альпина Паблишер, 2016. 332 с.
2. Егоров М. Топ-5 инноваций в энергетике: от интернета вещей до «умных» сетей // ИКС. 2019. № 2. С. 12–15.
3. Линдер Н.В., Лисовский А.Л. Развитие рынка электроэнергии в России: основные тенденции и перспективы // Стратегии бизнеса. 2017. № 1. С. 48–54.
4. “Digitalization and Energy” [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy> (дата обращения: 09.03.2021).
5. О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года: Указ Президента Рос. Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 // Российская газета. 2018. 9 мая.

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ УРОЖАЙНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАВИГАЦИОННЫХ GPS-СИСТЕМ

Э.И. Шарифуллина<sup>1</sup>, М.А. Сафин<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>evelina191a@mail.ru, <sup>2</sup>cmvorkut@mail.ru

Представлено общее описание, а также функциональные возможности автоматизированного мониторинга урожайности с использованием навигационных GPS-систем. Показаны преимущества применения данной технологии в сельском хозяйстве.

**Ключевые слова:** мониторинг, автоматизация, GPS, урожайность, система.

Агропромышленный комплекс был и остается важной отраслью. Мониторинг поля в сельском хозяйстве нужен для получения комплексной информации о состоянии растений и почвы. На основе полученных данных принимаются решения по обработке грунта, его удобрения, борьбе с вредителями.

Мониторинг поля в сельском хозяйстве – трудоемкий и длительный процесс. Мониторинг посредством спутников – передовые методы диагностики, набирающие популярность в агрономии. Автоматизированный мониторинг урожайности с использованием навигационных GPS-систем – эффективное решение, позволяющее получать максимально точные данные за короткий промежуток времени.

Значительное преимущество мониторинга с навигационной GPS-системой – возможность получения архивных снимков. Если интересующий участок находится в «поле зрения» спутника, можно получить его архивные снимки за последние несколько лет. Такой анализ позволит сравнить в динамике наиболее и наименее продуктивные поля, развитие вегетации, наличие проблемных зон. Если на одном и том же участке поля проблема повторяется из года в год, аграриям будет проще установить причину и принять меры по ее устранению [1, 2].

С помощью специальных датчиков и контролеров, установленных на комбайнах, а также используя дисплеи для точного земледелия и приёмники GPS, можно получить пространственно-ориентированные карты урожайности и влажности зерна, благодаря которым ведётся дальнейшая работа на посевных и позволяет контролировать весь спектр работ на обрабатываемых площадях [3].

Высокоточное картирование (карта для оценки состояния) урожайности на основе спутниковых данных позволяет аграрию осуществить точное планирование графиков проведения посевных, уборочных и других сельскохозяйственных работ. Создание цифровых карт оказывает важное влияние на эффективность работы агрария, так как эта информация полезна и важна на всех этапах выращивания зерновых. Каждое поле имеет различный тип почв, различный состав питательных веществ и различное количество влаги. Специалисты могут в режиме реального времени произвести оценку текущего состояния почвы, определить площади пахотных и пустующих земель, контролировать состояние посевов, оценить всхожесть и степень зрелости зерновых культур, проанализировать продуктивность угодий и наблюдать динамику их развития, спрогнозировать урожайность, оценить состояние растительности, в том числе на отдельных участках посевных, определить экологические и техногенные факторы, влияющие на рост и урожайность, спланировать комплекс агротехнологических работ [3, 4].

При помощи спутниковой GPS-системы мониторинга определяются проблемные участки поля. На участках с неоднородными всходами нужно провести агрохимический анализ почв с целью установления причин неурожайности. Также неоднородность всходов указывает на необходимость дифференцированного внесения удобрений [1].

Результаты мониторинга заменяют полевые наблюдения и позволяют оценить состояние использования территорий, идентифицировать виды культур, определить динамику роста биомассы и вовремя обнаружить отклонения.

Космоснимки в естественных цветах помогут определить эффективность использования территории, процент необрабатываемых земель.

Ещё одной полезной сферой применения GPS технологии стала система точного полива для линейного оборудования. Данная система повышает точность и качество поливного оборудования и процесса орошения.

Завершающим этапом при выращивании зерновых культур естественно является сбор урожая. Благодаря спутниковым картам определяется порядок сбора урожая с самых «зрелых» участков, планируется и отслеживается маршрут сбора и даже скорость движения уборочных комбайнов. Процесс полностью автоматизирован и контролируется диспетчером в режиме реального времени. Во время сбора урожая GPS-приёмники в сочетании с мониторами намолоченного зерна (намолота) предоставляют точные пространственные координаты для данных мониторинга намолота, которые могут быть использованы для составления карт намолота каждого поля. Эти карты далее используются фермерами в качестве входных данных в последующих сельскохозяйственных циклах.

Главные инструменты для агрария – карты вегетации, рассчитанные на основании спектрального индекса. Существует более 160 различных вегетационных индексов, наиболее распространённый – NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* – нормализованный дифференцированный вегетационный индекс) – количественный показатель фотосинтетической биомассы, который учитывает красную и инфракрасную зону электромагнитного спектра. Это один из элементов для получения информации о статусе развития культуры в поле. Важным показателем в картах вегетации является разрешение снимка. Чем больше разрешение снимка, тем точнее он отображает информацию по каждому участку поля и тем более достоверны эти данные [3].

### Источники

1. Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие: учеб. пособие / В. Балабанов [и др.]. М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2013. 143 с.
2. Новое сельское хозяйство [Электронный ресурс]: журнал агроменеджера. URL: <https://www.nsh.ru/> (дата обращения: 17.02.2021).
3. Труфляк Е.В. Картирование урожайности. Краснодар: КубГАУ, 2016. 13 с.
4. Горный информационно-аналитический бюллетень [Электронный ресурс]: науч.-техн. журнал. 2009. URL: <https://giab-online.ru/catalog/rubric/74> (дата обращения: 17.02.2021).
5. «Вегетация под контролем: спутниковый мониторинг полей» [Электронный ресурс]. URL: <https://glavagronom.ru/articles/Vegetaciya-pod-kontrolem-sputnikovuj-monitoring-polej> (дата обращения: 17.02.2021).

УДК 67.04

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРПУСА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

Н.С. Шаронов<sup>1</sup>, А.Н. Богданов<sup>2</sup>  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1</sup>nik.sharonov.03@mail.ru, <sup>2</sup>ban.mic@mail.ru

Одним из важнейших факторов, определяющих состояние растений, является влажность почвы. Для полноценного развития растений тканям и клеткам нужно получать оптимальное количество воды, особенно во время роста. Во время вегетации

в клетках и тканях некоторых растений содержится 70–90 % воды. При этом каждое растение требует индивидуального уровня содержания влаги в почве в зависимости от этапа роста и сезона года.

**Ключевые слова:** измерительный модуль, измерение влажности, выращивание растений, автоматизация полива.

Поддержание оптимального уровня влажности почвы возможно с помощью автоматической системы полива. Но для поддержания и регулирования необходимой влажности недостаточно настроить полив растений только по таймеру с заранее заданным алгоритмом. На влажность почвы влияют различные факторы – такие как температура окружающей среды, попадание солнечного света на почву, потребление влаги корнями растений, наличие потока воздуха у поверхности почвы. Поэтому важным является получение информации о текущем состоянии почвы [1, 2].

В настоящее время существуют различные типы датчиков, позволяющих измерять влажность почвы и передавать информацию на управляющие устройства. Подобные датчики можно классифицировать по принципу действия, комнатного или уличного исполнения, по проводному или беспроводному способу передачи информации [1–4].

Примером датчика комнатного исполнения с беспроводным типом передачи информации является Xiaomi Smart Flower Monitor (рис. 1). Данный прибор позволяет измерять: уровень минеральных веществ, влажность почвы, температуры, освещение.



Рис. 1. Измерительный прибор Xiaomi Smart Flower Monitor



Имеются функции связи с мобильными устройствами посредством Bluetooth, облачный сервис с базой данных и рекомендациями по уходу более чем для 900 растениями.

Примером датчика влажности уличного исполнения является GARDENA 1188-20 (рис. 2). Данный прибор содержит встроенный регулятор и применяется в системах полива грядок.



Рис. 2. Измерительный прибор GARDENA 1188-20

Одним из ограничивающих факторов применения подобных датчиков является их цена. В связи с неоднородностью почвы и влиянием различных факторов окружающей среды для оптимального регулирования влажности почвы даже небольших грядок может потребоваться несколько датчиков. Если же рассматривать большие тепличные хозяйства и даже небольшие фермы по выращиванию микрозелени возникает необходимость в нескольких десятках подобных датчиков.

С целью снижения цены возможна разработка собственных систем регулирования влажности почвы. В этом случае возникает задача создания корпуса как самого средства измерения, так и других компонент системы.

Нами разрабатывается система регулирования влажности почвы для применения в помещении или теплице с возможностью беспроводной передачи данных и интеграции в систему регулирования микроклимата в целом. С этой целью я разрабатываю корпус датчика.

При разработке корпуса важным является способ изготовления и соотношение цены-качества материала.

В ходе работы был выполнен сравнительный анализ 3D-печати и литья для изготовления корпуса (см. таблицу).

## Сравнение методов производства изделий из пластика

Показатели/ Метод производства	3D-печать на FDM принтере	Литьё в силиконовую форму	Литьё пластика под давлением
Тираж	Поштучное производство или создание единичного экземпляра- прототипа	Мелкосерийное производство	Крупносерийное производство
Этап применения на крупносерийном производстве	На этапе разработки изделия	На этапе тестирования изделия	На этапе производства изделия
Скорость изготовления	Несколько дней	Несколько недель	Больше месяца
Наличие предварительных работ	Отсутствуют	Мало подготовительных работ. Низкая стоимость	Длительный этап подготовки. Высокая стоимость
Качество поверхности (по шкале от 1 до 10)	6	8	10
Материал	PLA пластик	Полиуретаны	ABS пластик

На этапе разработки прототипа я выбрал 3D-печать. Несмотря на достаточно высокую цену изготовления корпуса, такой способ позволяет достаточно быстро собрать и протестировать первые образцы. В дальнейшем планирую освоить литье в силиконовую форму, что будет способствовать повышению качества внешнего вида и уменьшению цены конечного устройства.

### Источники

1. Колесник С.Н. Об автоматизации измерений влажности почвы на орошаемом участке с ручной регистрацией данных // Актуальные вопросы мелиораций земель: сб. ст. аспирантов, магистрантов, студентов. Новочеркасск, 2012. С. 66–70.

2. Обумахов Д.Л. О методах измерения влажности почвы // Актуальные вопросы мелиораций земель: сб. ст. аспирантов, магистрантов, студентов. Новочеркасск, 2012. С. 74–77.

3. Стеценко М.А. Анализ электротехнических методов измерения влажности почвы // Электрооборудование и электротехнологии: матер. 1-й студ. науч.-практ. конф., посв. 60-летию кафедры «Электрификация и автоматизация АПК». Кинель, 2016. С. 81–84.

4. Бурцев А.Г., Покусаева Е.В. Исследование приборов измерения влажности почвы зеленых насаждений // Novainfo.Ru. 2017. Т. 2, № 67. С. 38–42.

УДК 681.3

## ЯЗЫКИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПЛК

А.Р. Якшибаев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

yakshibaev1999@gmail.com

Науч. рук. В.В. Плотников

Посвящается стандарту IEC 1131-3, устанавливающему языки программируемых логических контроллеров. Рассмотрены проблемы перехода с данного стандарта на современные языки программирования.

**Ключевые слова:** языки программирования, стандарт, ПЛК.

В 1993 г. Международной Электротехнической Комиссией (МЭК) был опубликован стандарт IEC 1131 часть 3 (IEC 1131-3), описывающий синтаксис и смысловое значения пяти языков программирования ПЛК. Его задача – стандартизирование существующих языков программируемых логических контроллеров (ПЛК) [1]. В стандарте были описаны 5 языков программирования:

LD (*Ladder Diagram*) – графический язык, являющийся программной реализацией электрических схем на базе электромагнитных реле. Язык дополнен таймерами, счетчиками и т.п., из-за своих сильных ограничений;

FBD (*Function Block Diagram*) – графический язык, функциональный блок (ФБ) которого выражает некую подпрограмму. Каждый ФБ имеет входы и выходы. Программа создается на основе соединения множества ФБ;

SFC (*Sequential Function Chart*) – графический высокоуровневый язык, который используется для описания алгоритма в виде набора связанных пар. Язык не имеет средств для описания шагов и переходов, которые могут быть выражены только на других языках стандарта;

ST (*Structured Text*) – текстовый язык программирования, похожий на язык Паскаль. Используется только совместно с SFC, потому что не имеет самостоятельного значения;

IL (*Instruction List*) – аппаратно-независимый низкоуровневый текстовый язык (устарел, исключен в 3-й редакции стандарта) [2].

За время своего существования данный стандарт внес неоценимый вклад в развитие промышленности. Он не утратил своей актуальности, и даже в наше время широко применяется.

Конечно, за 27 лет существования пяти основных языков МЭК, появилось множество других языков программирования, которые обладают более простым и удобным синтаксисом для пользователя. Это упрощает написание кода, а значит, экономит время и средства. Также более современные языки способны лучше раскрывать функции, которые были задуманы автором программы. Почему же в стандарт не внедряют современные, удобные, простые в освоении языки программирования?

Причин нежелания компаний переходить на новый язык может быть множество. Перечислим основные:

- простота проекта, позволяющая использовать примитивные ПО, что позволяет экономить средства на их приобретении;
- проект не рассчитан на долгий период эксплуатации;
- невозможность применения альтернативных средств проектирования, связанная с особенностями конкретного предприятия;
- необходимость временных затрат на переобучение персонала, обслуживающего код;
- станок поддерживает только ПО, разработанное на данном языке (особенно актуально в случае, когда станок работает третий цикл);
- станки были связаны друг с другом старой программой, а новая не даст возможность их связать, или же на их связь уйдет большое количество времени;
- возможные риски потери прибыли при переходе на новый язык (лучше использовать то, что работает стабильно на протяжении долгого времени и не мешать ему выполнять задачи).

Вместе с тем использование устаревшего стандарта может приводить и к появлению серьезных проблем. Например, в нескольких штатах США ведутся поиски специалистов в языке программирования COBOL

для обновления ПО, которое используется в системе занятости. По причине роста числа безработных на фоне пандемии коронавируса система перестала справляться с нагрузкой. Поиски пока что безуспешные. COBOL, по оценке Tom'sHardware, находится в списке мертвых языков и программистов, которые знают его, почти не осталось.

С течением времени стандарт 1993 г. станет еще менее актуальным, и новые программисты перестанут изучать старые языки программирования, потому что появятся такие, которые будут и проще, и удобнее. Это заставит все компании постепенно перейти на новые стандарты, так как использование старых при появлении глобальных сбоев в работе оборудования приведет к его полной остановке по причине отсутствия специалистов, работающих по старому стандарту. Сбои в работе и аварийные ситуации могут привести не только к потере прибыли, но и к созданию опасности для жизни и здоровья персонала.

Таким образом, не смотря на то, что старый стандарт является на данный момент актуальным, неизбежен постепенный переход на новые языки программирования. Длительность данного процесса будет определяться требованиями производства и, в большой степени, финансовыми возможностями каждого предприятия.

### **Источники**

1. Зюбин В.Е. К пятилетию стандарта ИЕС 1131-3. Итоги и прогнозы // Приборы и системы управления. 1999. № 1. С. 64–71.
2. Черкасов А.С. Использование языков МЭК 61131-3 для программирования логических контроллеров // Символ науки. 2020. № 1. С. 34–37.

## Секция 6. ТЕПЛОФИЗИКА

УДК 66.047.75:536.2

### ОБЗОР ОСОБЕННОСТЕЙ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЫПУЧИХ СРЕД

Д.А. Ануфриев<sup>1</sup>, И.О. Одинцов<sup>2</sup>, А.И. Шиш<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup>ФГБУ «НИЦ «Курчатовский институт» г. Москва

<sup>2,3,4</sup>ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» г. Москва

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «МГУПП» г. Москва

<sup>1</sup>danil33243@gmail.com, <sup>2</sup>warbeast123123@gmail.com<sup>3</sup>, shish96@inbox.ru,

Науч. рук. Д.И. Борисенко<sup>4</sup>

Выполнен обзор существующих экспериментальных стендов для исследования теплофизических свойств сыпучих сред.

Для решения ряда задач в различных отраслях промышленности необходимо знать теплофизические характеристики сыпучей среды. Для этого нужны экспериментальные стенды по исследованию теплообмена в сыпучих средах.

**Ключевые слова:** экспериментальный стенд, сыпучая среда, особенности, теплофизические характеристики.

В работе [1] описано применение метода двух температурно-временных интервалов, который позволяет определить теплофизические характеристики с высокой точностью. Метод двух температурно-временных интервалов относится к скоростным методам определения теплофизических характеристик. Подробнее о методе можно узнать, ознакомившись с работой [2]. Данный метод позволяет определять температуропроводность  $a$ , теплопроводность  $\lambda$ , объёмную теплоёмкость  $c_V$  сыпучих материалов при различных температурах. Между нагревателем и теплоприёмником помещается исследуемый материал, через который теплоприёмнику передается теплота, в результате температура теплоприёмника повышается. Принципиальная схема экспериментального стенда, о котором говорится в работе [1], представлена на рис. 1.

Основная особенность данного метода – точность определения теплофизических характеристик сыпучего материала.

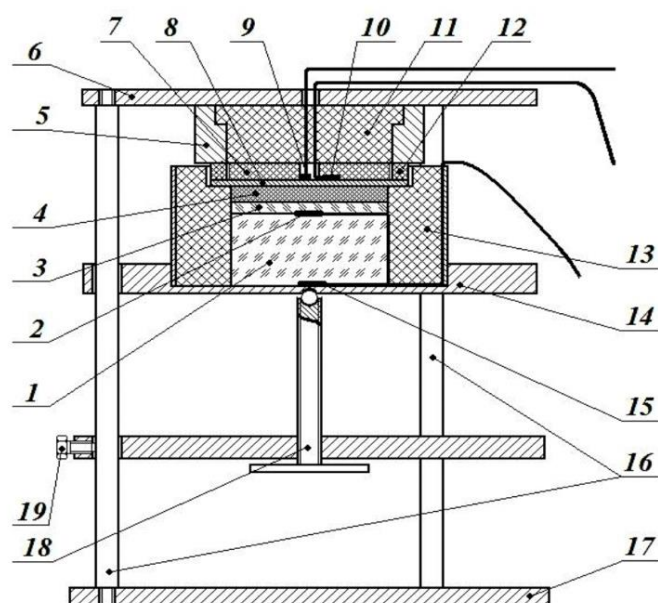


Рис. 1. Схема лабораторного стенда для определения теплофизических характеристик: 1 – теплоприемник; 2, 10, 15 – термоэлектрические преобразователи; 3 – буферная зона; 4 – исследуемая среда; 5 – корпус; 6 – основание нагревателя; 7 – нагреватель из медной проволоки; 8 – рабочая поверхность нагревателя; 9 – тиристор; 11, 13 – теплоизоляция; 12 – уплотнительное кольцо; 14 – основание теплоприёмника; 16 – направляющие стержни; 17 – основание; 18 – винтовое приспособление; 19 – фиксирующие винты

В работе [3] описывается экспериментальный стенд, который позволяет в автоматическом режиме определять объёмную теплоёмкость, теплопроводность, температуропроводность сыпучей среды. Теоретической частью данного метода, положенного в основу этого стенда, является изучения теплофизических свойств материалов составляют аналитические закономерности распределения тепла в системе, состоящей из двух тел на стадиях: режима нагрева, стационарного режима и режима остывания. В процессе эксперимента фиксируется термограмма зависимости разницы значений температур на наружной и внутренней стенках исследуемого образца от времени. Экспериментальный стенд состоит из тепло-измерительной ячейки 1, блоков измерительно-управляющей подсистемы 2–5, 7 и персонального компьютера 6.

Управление режимными параметрами и регистрация измерительной информации происходит с помощью персонального компьютера. Автоматизация сбора информации, управления экспериментом и обработки данных осуществляется с помощью специального программного обеспечения. Принципиальная схема экспериментального стенда из работы [3] представлена на рис. 2.

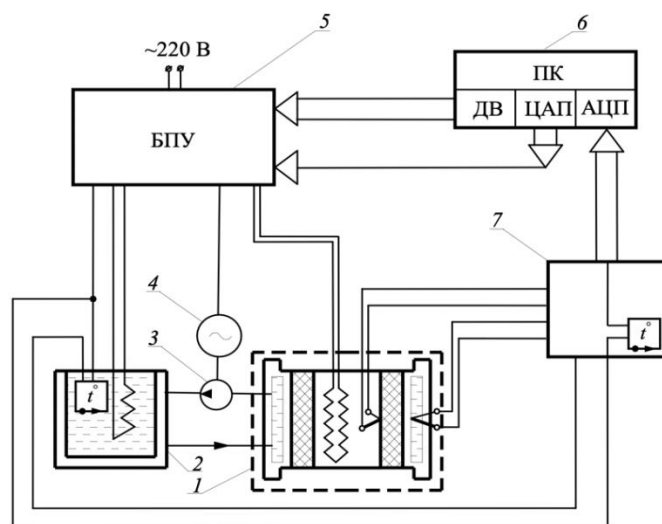


Рис. 2. Схема экспериментального стенда: 1 – тепло-измерительная ячейка; 2 – жидкостной термостат; 3 – циркуляционный насос; 4 – электродвигатель; 5 – блок питания и управления; 6 – персональный компьютер; 7 – блок холодных спаев

Основная особенность данного метода – автоматизация процесса определения теплофизических характеристик сыпучего материала.

В работе [4] описывается переносной экспериментальный стенд позволяющий исследовать теплопроводность сыпучего материала, который включает в себя: термопары, отражатель тепла и теплоуловитель, нагреватель, испытуемый образец, блок управления с переключателем, термометр, блок питания, прижимной винт, штанги, прижимная подушка, теплоизоляция. Принципиальная схема экспериментального стенда из работы [4] представлена на рис. 3.

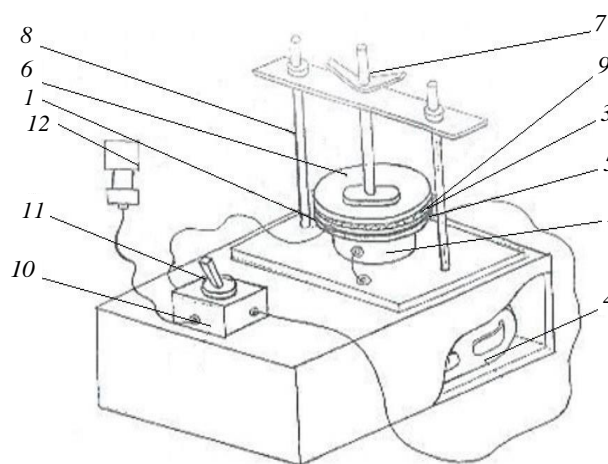


Рис. 3. Переносной экспериментальный стенд для определения теплопроводности сыпучих материалов: 1 – термопара; 2 – отражатель тепла; 3 – теплоуловитель; 4 – нагреватель; 5 – испытуемый образец; 6 – прижимная подушка; 7 – штанга; 8 – прижимной винт; 9 – теплоизоляция; 10 – блок управления; 11 – переключатель; 12 – жидкокристаллический экран



Согласно схеме, представленной на рис. 3, в качестве средства для измерения теплопроводности использованы термопары, электрически связанные с блоком питания, которые устанавливаются с разных сторон испытуемого образца. Сверху на образец помещается отражатель тепла с канавкой для термопары, а снизу помещается теплоулавливатель также с канавкой для термопары. Вся конструкция фиксируется на прижимной подушке, которая крепится на штангах и сверху придавливается прижимным винтом, размещенным на корпусе с блоком управления. Основная особенность данного метода – мобильность экспериментального стенда.

В работе [5] представлен стенд, который позволяет управлять тепло-массообменными процессами, происходящими в исследуемой сыпучей среде: создавать очаги самосогревания и варьировать интенсивность их развития, а также фиксировать пространственно-временные распределения температуры и влажности. Стенд состоит из ёмкости в форме вертикального цилиндра, где находится исследуемая сыпучая среда, в которой располагаются чувствительные элементы. Измерения производятся одновременно в 30 различных точках одновременно. В сыпучей среде реализуется осесимметричная задача из-за особенностей подведения теплоты и влаги. Для того чтобы образовался очаг саморазогревания в определенном месте туда доставляют влагу с заданными параметрами по специальным трубкам и нагревают это место до нужного значения. Отвод же теплоты из очага самосогревания производится посредством передачи теплоты к охлаждающей жидкости, которая находится в трубке теплосъёма. Принципиальная схема экспериментального стенда из работы [5] представлена на рис. 4. Основная особенность данного метода – регистрация пространственно-временных распределений температуры и влажности.

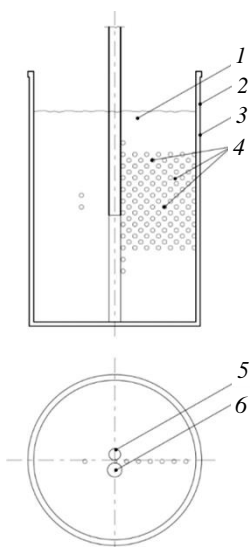


Рис. 4. Принципиальная схема экспериментального стенда: 1 – исследуемая среда; 2 – рабочая ёмкость; 3 – теплоизоляция; 4 – чувствительные элементы; 5 – система отвода тепла; 6 – система провоцирования самосогревания

В работе [6] представлен экспериментальный стенд для определения теплофизических характеристик.

Метод, который использовался при проведении исследований, отличается от известных тем, что в тепловой части содержится дифференциальная термопара, «холодный» спай которой помещён в термостат вместе с исследуемым образцом, а «горячий» спай вместе с нагревателем находится внутри образца. Измерительная часть имеет предварительный фотокомпенсационный усилитель, согласованный с компенсационным самопишущим прибором.

Методы нестационарного потока характеризуются переменным температурным режимом в испытуемом образце, кратковременным тепловым воздействием на материал. Во время которого не изменяется его гидротермическое состояние, то есть во время эксперимента, влажность исследуемого образца остаётся постоянной, что является более приближенным случаем к реальным промышленным условиям, и малым градиентом температур, что положительно сказывается на результатах.

Принципиальная схема экспериментального стенда из работы [6] представлена на рис. 5. Основная особенность этого метода – быстрота проведения эксперимента.

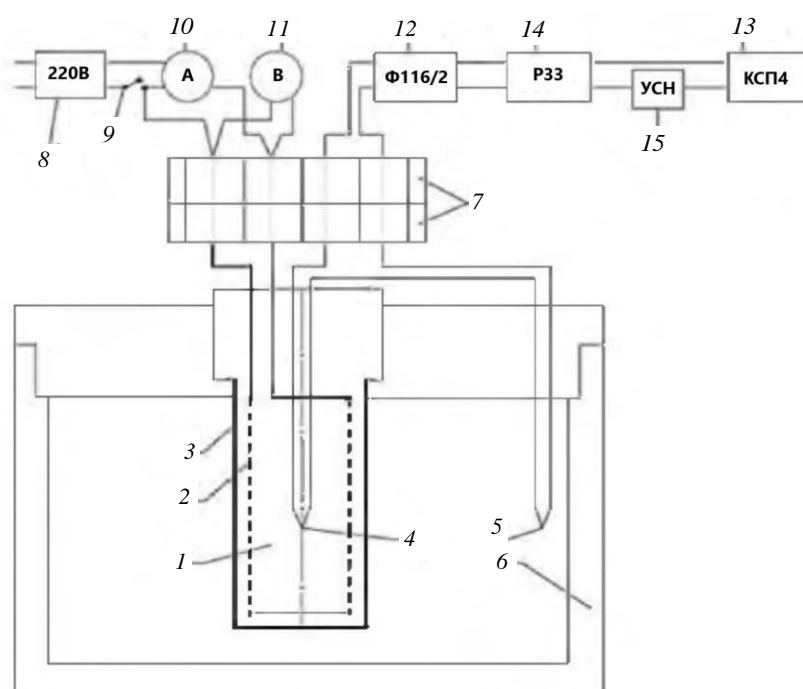


Рис. 5. Схема экспериментального стенда: 1 – исследуемая среда; 2 – нагреватель; 3 – стакан; 4 – «горячий» спай термопары; 5 – «холодный» спай термопары; 6 – термостат; 7 – разъём; 8 – блок питания нагревателя; 9 – выключатель; 10 – амперметр; 11 – вольтметр; 12 – фотокомпенсационный усилитель; 13 – самопишущий прибор; 14 – магазин сопротивлений; 15 – устройство смещения нуля

**Заключение.** В ходе данной работы были изучены некоторые экспериментальные установки по исследованию теплофизических свойств сыпучих сред. Каждая из изученных установок обладает своей особенностью, позволяет исследовать теплофизические свойства сыпучих материалов с разной скоростью и разной точностью, как объёмно, так и в конкретной точке. Для исследования очага саморазогревания подходит установка из работы [5], так как в ней реализована возможность подачи влаги с заданными параметрами в определённую точку.

В некоторых случаях, когда исследуемый материал сложно, дорого транспортировать или материал при транспортировке теряет некоторые свои свойства лучше всего использовать установку из работы [4].

Когда исследование материала занимает продолжительное время или невозможно нахождение человека в зоне исследования наилучшим вариантом является установка из работы [3], так как она автоматизирована.

В ходе данной работы были выявлены положительные стороны изученных экспериментальных стендов и подчеркнуты основные преимущества каждого из них.

### **Источники**

1. Короткий И.А. Применение метода двух температурно-временных интервалов для определения теплофизических характеристик твердых, жидких и сыпучих материалов // Техника и технология пищевых производств. 2009. № 2 (13). 5 с.

2. Волькенштейн В.С. Скоростной метод определения теплофизических характеристик материалов. Л.: Изд-во «Энергия», 1971. 145 с.

3. Танганов Б.Б. Чувствительная установка для измерения теплопроводности строительных и сыпучих материалов, тары и упаковок // Вестник бурятского государственного университета. 2012. № 3. С. 131–134.

4. Полунин Е.П., Тужилина Н.Ю., Кацуба Д.С. Измерительная система для определения теплофизических свойств теплоизоляционных материалов // Психолого-педагогический журнал Гаудеамус. 2011. Т. 2, № 18. С. 136–138.

5. Борисенко Д.И. Разработка экспериментального стенда для исследования очагов самонагрева в сыпучих средах // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19, № 4. С. 848–853.

6. Муцаев Р.В., Алексанян И.Ю., Нугманов А.Х.-Х. Определение удельной теплоемкости инулина калориметрическим способом // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2017. № 2. С. 53–58.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ В ОТСТОЙНИКЕ

Г.Р. Бадретдинова<sup>1</sup>, А.Е. Исаева<sup>2</sup>, И.Н. Мадьшев<sup>3</sup>, А.О. Маясова<sup>4</sup>

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

<sup>3,4</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ», г.

Казань samasaka@yandex.ru

Науч. рук. О.С. Попкова

Рассмотрена проблема сепарации нефтяных глобул из водонефтяной эмульсии. Предложена конструкция отстойника с гофрированными пластинами. В работе представлены данные, полученные в ходе численного решения в ANSYS Fluent. Результаты показали, что применение сепарационных вставок, которые представляют гофрированные пластины позволяют существенно увеличить эффективность сепарации нефтяных глобул из водонефтяной эмульсии.

**Ключевые слова:** отстойник, сепаратор, водонефтяная эмульсия, нефть, нефтяные глобулы, гофрированные пластины.

На данный момент времени перед многими нефтехимическими промышленными объектами стоит задача повышения эффективности сепарации нефтяных глобул из водонефтяных эмульсий [1–4]. На нефтяных месторождениях при эксплуатации скважин увеличивается доля пластовой воды в нефти, которая приводит к усложнению технологического процесса и увеличению времени разделения водонефтяной эмульсии на составляющие компоненты. Следует отметить, что в ходе эксплуатации нефтяных месторождений осуществляется интенсивное перемешивание пластовой воды и нефти. В результате данного процесса образуются устойчивые водонефтяные эмульсии [5–8].

Предложены сепарационные элементы, представляющие собой гофрированные пластины с ориентацией гофр, выполненных под углом 45°, которые вставляются в отстойник (рис. 1). В ходе использования гофрированных пластин была выдвинута гипотеза, что их использование в отстойнике позволит повысить эффективность разделения водонефтяной эмульсии и увеличить пропускную способность устройства за счет интенсификации процессов флокуляции капель нефти и дальнейшей их коагуляции. Вследствие возникновения большого количества точек вихреобразования вблизи гофр, создается «эффективная» структура потока, которая позволяет повысить количество процессов коагуляции нефтяных глобул.

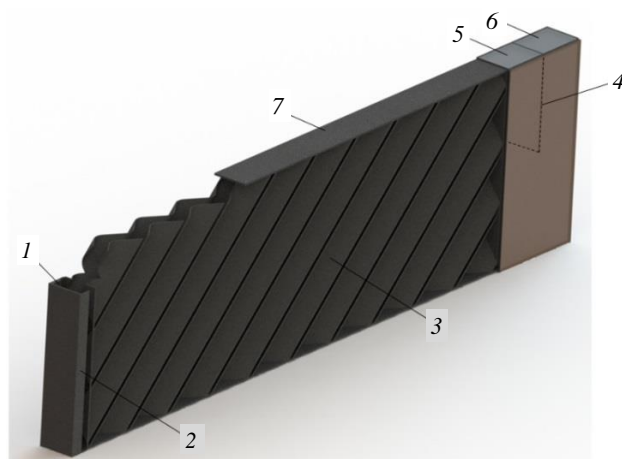


Рис. 1. 3D-модель отстойника: 1, 2 – входные патрубки; 3 – исследуемые гофрированные пластины; 4 – перегородка между секциями; 5 – выход легкой фазы; 6 – выход тяжелой фазы; 7 – корпус устройства

Для проверки адекватности выдвинутой гипотезы была смоделирована трехмерная модель отстойника с сепарационными элементами в виде гофрированных пластин с ориентацией гофр, выполненных под углом  $45^\circ$  и проведено численное моделирование процесса разделения водонефтяной эмульсии в данном устройстве в программном комплексе ANSYS Fluent.

Проведенные исследования показали, что использование сепарационных элементов, представляющие собой гофрированные пластины с ориентацией гофр, выполненных под углом  $45^\circ$ , позволяют повысить эффективность разделения водонефтяной эмульсии на составляющие компоненты за счет возникновения волновой структуры потока и множества точек вихреобразования относительно длин пластин. Однако, различные характеристики точек вихреобразования – сила и их размер, являются причиной увеличения и уменьшения эффективности разделения эмульсии, вследствие обратных процессов – расслоения и смешения. В ходе исследований установлено, что эффективность разделения водонефтяной эмульсии в среднем составляет 73,7 %. При этом был определен пиковый диапазон, соответствующий скоростям от 0,05 до 0,17 м/с, при котором эффективность разделения эмульсии, составляет в среднем 77,7 %.

Работы выполнены при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации № МК-616.2020.8.

### Источники

1. Исследование влияния диаметра выходных отверстий на эффективность разделения эмульсии в прямоугольных сепараторах / И.Н. Мадышев [и др.] // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24, № 6 (155). С. 1232–1242.

2. Исследование процесса деэмульсации водонефтяной эмульсии в отстойнике с гофрированными пластинами / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник технологического университета. 2020. Т. 23, № 7. С. 61–64.
3. Интенсификация очистки сточных вод ТЭС от нефтепродуктов в отстойниках / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник технологического университета. 2020. Т. 23, № 6. С. 64–67.
4. Моделирование процесса разделения водонефтяной эмульсии в прямоугольном сепараторе / А.В. Дмитриев [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. № 3 (39). С. 65–71.
5. Удаление влаги из загрязненного трансформаторного масла в прямоугольных сепараторах / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21, № 11. С. 75–79.
6. Removal of moisture from contaminated transformer oil in rectangular separators / A.V. Dmitriev [et al.]. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911001026> // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 110.
7. The experimental study of increasing the efficiency of emulsion separation / V.E. Zinurov [et al.]. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015706001> // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 157.
8. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Файзрахманов И.Д. Разработка аппарата для разделения водонефтяной эмульсии // Энергия молодежи для нефтегазовой индустрии: матер. III Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. Альметьевск, 2018. С. 387–389.

УДК 66.074.2

## **СЕПАРАЦИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ИЗ ГАЗОВОГО ПОТОКА В СЕПАРАТОРЕ С СООСНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ТРУБАМИ**

Г.Р. Бадретдинова<sup>1</sup>, К.С. Моисеева<sup>2</sup>, И.В. Петрова<sup>3</sup>, А.О. Маясова<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>4</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань

samasaka@yandex.ru

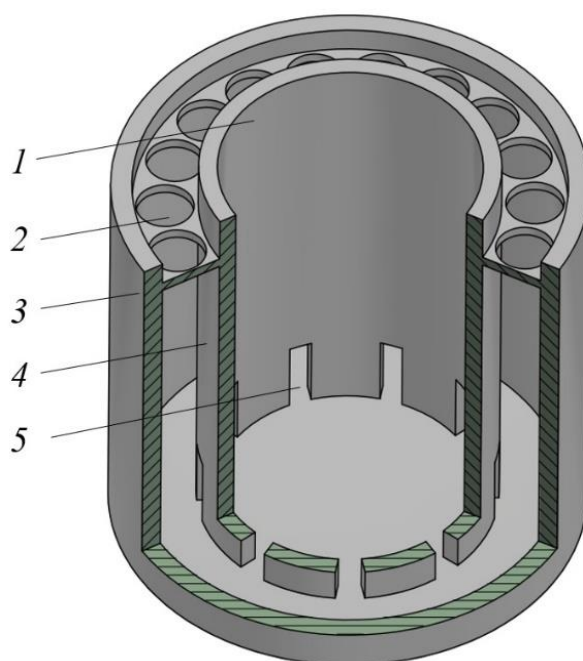
Науч. рук. О.С. Попкова

Рассмотрена проблема сепарации мелкодисперсных частиц из газового потока. Представлена конструкция сепаратора с соосно расположенными трубами. Подробно описан процесс сепарации мелкодисперсных частиц из газового потока в разработанном устройстве. В докладе будут представлены результаты численного моделирования.

**Ключевые слова:** мелкодисперсные частицы, сепаратор, сепарационное устройство, запыленный поток, газовый поток, сепарация.

Для сепарации мелкодисперсных частиц из газового потока, что является важной задачей, был разработан сепаратор с соосно расположенными трубами [1–5]. Устройство обладает простой конструкцией, которая изготавливается из 2 цилиндрических труб и пластины, привариваемой к трубам в межтрубном пространстве. Для движения газового потока в устройстве в нижней части внутренней цилиндрической трубы осесимметрично вырезаются прямоугольные щели и в пластине, располагающейся в межтрубном пространстве, осесимметрично вырезаются круглые отверстия. При этом количество круглых отверстий вдвое больше числа прямоугольных щелей.

Процесс сепарации частиц из газа осуществляется преимущественно за счет формирования устойчивой завихренной структуры газового потока с частицами в межтрубном пространстве, при которой возникают центробежные силы высоких значений, вследствие чего мелкодисперсные частицы при сильном вращении газа вылетают из структуры его движения в направлении к поверхности внутренней цилиндрической стенке внешней трубы, при контакте с которой мелкодисперсные частицы прилипают к ней за счет межмолекулярных и электростатических сил. Процесс сепарации мелкодисперсных частиц из газового потока в более общем виде можно описать следующим образом: газ с частицами подается в сепаратор с соосно расположенными трубами через входное отверстие 1 (см. рисунок), после чего он движется в нижнюю часть внутренней цилиндрической трубы 4, по мере достижения газом плоскости, на которой начинают располагаться прямоугольные щели 5, структура движения газа изменяется – она начинает равномерно распределяться в осесимметричном направлении к прямоугольным щелям 5. Таким образом, направление движения газа изменяется на  $90^\circ$ . При данном повороте относительно крупные и средние частицы, которые коагулировали между собой из мелких частиц в технологической линии после плазмотрона, выбиваются из структуры потока и сыпаются в бункер устройства. Остальная часть частиц с газом проходят через прямоугольные щели 5, и каждая струя газа при выходе из прямоугольной щели в равном соотношении распределяется в две противоположные стороны друг от друга. При разделении струи газа на два потока, каждая его часть движется под определенным углом в направлении к внутренней стенке внешней цилиндрической трубы, которая позволяет зеркально развернуть поток и придать ему вихревое движение. Далее завихренный газовый поток с частицами движется в верхнюю часть устройства в межтрубном пространстве к пластине с круглыми выходными отверстиями 2.



Упрощенная трехмерная модель с разрезом сепаратора с соосно расположенными трубами: 1 – входное отверстие; 2 – выходные отверстия; 3 – внешняя цилиндрическая труба; 4 – внутренняя цилиндрическая труба; 5 – прямоугольные щели

Каждое круглое отверстие позволяет поддерживать вихревую структуру по высоте. При вращении газа в межтрубном пространстве возникают центробежные силы высоких значений, влияющих на сепарацию мелкодисперсных частиц из газового потока, преимущественно за счет двух факторов:

1) маленький радиус вихря, позволяющий увеличить значения центробежных сил;

2) ускорение каждого вихря за счет сонаправленного движения соседних вихрей в точках контакта, что является особенностью данного устройства – прямоугольные щели проделаны таким образом, чтобы при выходе из них формировалось два завихрения, при этом каждое завихрение при своем вращении контактирует с соседними завихрениями. В точке контакта векторы скорости сонаправлены, в результате за счет сил инерции в данных точках завихрения придают друг другу дополнительный импульс к движению. Вследствие этого количество круглых отверстий в пластине, которое равно числу завихрений в устройстве, в два раза больше, чем прямоугольных щелей. Далее газовый поток выходит из устройства через выходные отверстия 2, проделанные в пластине (см. рисунок).

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента Российской Федерации № МК-2710.2021.4.



## Источники

1. Исследование влияния конструктивных и физических параметров на структуру движения газового потока в прямоугольном сепараторе / А.В. Дмитриев [и др.] // Вестник технологического университета. 2020. Т. 23, № 3. С. 85–88.
2. Очистка газовых выбросов котельных установок от твердых частиц / А.В. Дмитриев [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22, № 1. С. 3–9.
3. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Мубаракшина Р.Р. Повышение эффективности аспирационных систем при обработке крахмалистого сырья // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 18–22.
4. Зинуров В.Э., Галимова А.Р. Оценка экономической эффективности внедрения сепарационных устройств на предприятиях с покрасочными камерами // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2020. № 12 (194). С. 50–59.
5. 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.

УДК 681.11.031.1

### АНАЛИЗ ПРОЕКТА «СОЛНЕЧНОЕ ОБЩЕСТВО»

И.А. Бикташев, К.С. Моисеева  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
Vadd\_93@mail.ru  
Науч. рук. В.Э. Зинуров

В тезисе рассмотрена проблема накопления тепловой энергии. Рассмотрен реализованный проект «Солнечное общество» («Drake Landing»). Представлены бизнес-модель проекта, сегмент рынка, объем рынка, проблема, решение и основные выводы. В ходе анализа проекта было установлено, что в отопительном сезоне 2015-2016 гг. была достигнута 100 % потребность в отоплении жилых домов от солнечной энергии за счет тепловых накопителей.

**Ключевые слова:** тепловые накопители, солнечное общество, отопительный сезон, альтернативная энергетика, возобновляемая энергетика, накопители энергии.

Большинство актуальных задач использования тепловой энергии в целях повышения энергоэффективности и энергосбережения решается внедрением современных технологий, в основе которых лежат тепловые накопители энергии. В последние годы в разных уголках планеты было разработано множество проектов (кейсов) по аккумулированию тепловой энергии с целью дальнейшего ее использования.

Разработан и реализован проект «Солнечное общество» [1, 2], в основе которого лежит использование скважин в качестве хранилищ тепловой энергии, полученной от солнечных коллекторов для отопления домов в зимний сезон.

В качестве основного рыночного сегмента, на который ориентирован данный проект, выступает жилищно-коммунальное хозяйство. Объем рынка достигает 1,5 МВт тепла в солнечный летний день.

В рамках развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ) была поставлена задача создания жилого района практически полностью обеспечивающего себя тепловой энергией. Основной целью проекта являлось сокращение выбросов парниковых газов путем отказа от сжигания углеводородных видов топлива и решение проблемы глобального потепления. В среднем, выбросы от системы отопления одного домохозяйства в окружающую среду составляют около 4–5 т парниковых газов. В 2007 г. компанией Natural Resources Canada (NRCan) был построен экспериментальный жилой район, состоящий из 52 домов (г. Окотокс, провинция Альберта, Канада), включающий все необходимое технологическое оборудование: солнечные коллекторы, пробуренные скважины и т. д. Массив, состоящий из таких солнечных коллекторов, может генерировать до 1,5 МВт тепла в течение одного дня. Стоимость ежемесячного обслуживания и поддержания подобной инфраструктуры составляет в среднем 60–70 \$.

Основная проблема – организация сезонного накопления тепловой энергии с последующим ее использованием в холодный период.

Для хранения тепловой энергии, полученной от 800 солнечных панелей, был построен энергетический центр, включающий теплообменник, краткосрочные резервуары, вспомогательные устройства, тепловой накопитель энергии, состоящий из подземного хранилища, в котором находилось 144 скважины глубиной 37 м каждая. Система располагалась под землей, общая площадь – 962 м<sup>2</sup>. Полученная тепловая энергия от солнечных коллекторов посредством теплообменников и краткосрочных резервуаров в энергетическом центре забиралась

от теплоносителя и передавалась воде, далее нагретая до 40–50 °С вода поступала в скважинные тепловые накопители. Тепло передавалось окружающей почве и горным породам. К концу лета температура земли могла достигать 80 °С. Для уменьшения тепловых потерь использовались следующие материалы: высокой плотности утеплитель R-40, водонепроницаемая мембрана, песок, глина и другие ландшафтные материалы. В холодные месяцы вода из теплового накопителя возвращалась в краткосрочные резервуары и направлялась в жилые дома. К началу отопительного сезона 2015–2016 гг. жилой комплекс был полностью обеспечен тепловой энергией от солнечной фракции за счет скважин – подземное аккумулирование тепловой энергии.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

– в отопительном сезоне 2015–2016 гг. была удовлетворена 100%-я потребность в отоплении жилых домов от солнечной энергии за счет тепловых накопителей;

– скважинные накопители тепловой энергии позволяют хранить энергию в среднем от 3 до 5 месяцев;

– для обеспечения потребностей системы отопления 52 домов потребовалось 800 солнечных коллекторов;

– средняя стоимость дома, входящего в данный проект составляет 380 000 \$, ежемесячная плата за инфраструктуру варьируется от 60 до 70 \$;

– коэффициент производительности COP системы составляет 30.

Следует отметить, что тепловые накопители могут применяться также, например, при отводе низкопотенциального тепла от оборотной воды, от горячих паров, отходящих от камер сгорания при сжигании природного газа и др. [3–5].

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента Российской Федерации № МК-616.2020.8.

### **Источники**

1. The drake landing solar community Project – early results / B. Sibbitt [et al.] // In Power Point presentation to Canadian Solar Buildings Conference (pp. 10-14).

2. Drake landing solar community: 10 years of operation [Электронный ресурс] / L. Mesquita [et al.]. URL: <https://www.dlsc.ca/reports/swc2017-0033-Mesquita.pdf> (дата обращения: 10.02.2021).

3. 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.

4. Снижение энергетических затрат при отводе низкопотенциального тепла от оборотной воды путем использования блока оросителя с гофрированными перфорированными пластинами / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22, № 10. С. 57–61.

5. 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.

УДК 621.928

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА В КЛАССИФИКАТОРЕ С СООСНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ТРУБАМИ**

А.Р. Галимова<sup>1</sup>, В.Э. Зинуров<sup>2</sup>, А.С. Сергеева<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

vadd\_93@mail.ru

Науч. рук. А.В. Дмитриев

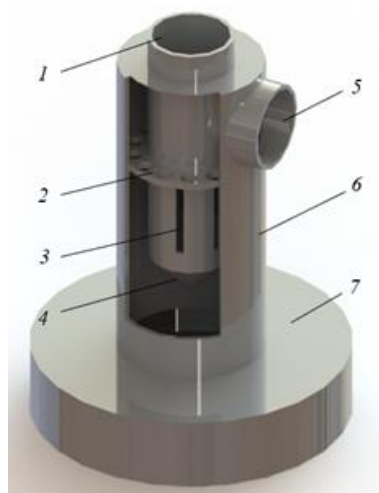
На сегодняшний день для промышленных предприятий актуальной и приоритетной задачей является повышение эффективности производственных процессов. Одним из путей является использование уловленного материала в различных технологических процессах. Улавливание механических примесей осуществляется на узлах очистки газа на компрессорных станциях. Существующие аппараты, в частности циклонные сепараторы, с данной задачей справляются с низкой эффективностью. Предложена конструкция классификатора с соосно расположенными трубами. Описан принцип его действия. Представлены результаты процесса моделирования классификации различных механических примесей в программном комплексе ANSYS Fluent. Проведенные исследования показали, что при использовании классификатора с конусообразной внутренней трубой достигается максимальная эффективность фракционирования механических примесей. Достоинствами предложенного классификатора с соосно расположенными трубами являются высокая эффективность и простота конструкции.

**Ключевые слова:** классификатор, улавливание частиц, фракционирование, сыпучий материал.

Очистка газового потока от различных механических примесей на узлах очистки газа на компрессорных станциях является важной задачей, так как предотвращает их попадание в технологические

трубопроводы, оборудование и другие места [1–3]. Следует отметить, что часть механических примесей представляет собой ценный материал, который можно использовать в различных технологических процессах [4–6]. Однако этот материал должен быть дополнительно классифицирован на фракции. В качестве классификаторов зачастую используются циклонные сепараторы, но вследствие того, что они не позволяют улавливать мелкодисперсные частицы размером менее 10 мкм, их область действия сужается. Поэтому разработка новых аппаратов для классификации механических примесей является актуальной задачей [7, 8].

Разработан классификатор с соосно расположенными трубами, конструкция аппарата представлена на рисунке.



Трехмерная модель классификатора с соосно расположенными трубами: 1 – входной патрубок; 2 – решетка с соосно расположенными трубами; 3 – прямоугольные отверстия; 4 – отверстие; 5 – выходной патрубок; 6 – корпус устройства; 7 – бункер

Принцип действия классификатора заключается в том, что запыленный газовый поток входит в устройства через входной патрубок 1, далее проходит в нижнюю часть устройства по цилиндрической трубе до прямоугольных отверстий 2, протекая через них газовый поток попадает во внутреннюю часть классификатора, где поток начинает вращаться и двигаться в верхнюю часть устройства к решетке с соосно расположенными трубами 2. При вращении газового потока частицы выбиваются из своей структуры и падают в бункер 7. Очищенный газовый поток выходит через выходной патрубок 5. Достоинствами предложенного классификатора с соосно расположенными трубами являются высокая эффективность, простота конструкции и относительно низкие финансовые затраты.

Моделирование процесса классификации различных механических примесей было выполнено в программном комплексе ANSYS Fluent. В ходе исследований было установлено, что на процесс классификации влияют различные конструктивные особенности: размер и количество отверстий в решетке, высота цилиндрической трубы и другие размеры классификатора. Проведенные исследования показали, что при использовании классификатора с конусообразной внутренней трубой достигается максимальная эффективность фракционирования механических примесей. Данное решение позволяет достигать большее значение центробежных, инерционных, гравитационных и прочих сил, действующих на запыленный поток. В среднем эффективность классификатора с конусообразной внутренней трубой больше на 35,3 %, чем классификатора с цилиндрической внутренней трубой.

### Источники

1. Очистка газовых выбросов котельных установок от твердых частиц / А.В. Дмитриев [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22, № 1. С. 3–9.
2. Оценка времени работы пылеуловителя со скругленными сепарационными элементами / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24, № 3. С. 606–615.
3. Пылеуловитель-классификатор с соосно расположенными трубами: пат. 201604 Рос. Федерация № 2020128520; заявл. 26.08.2020; опубл. 23.12.2020, Бюл. № 36. 6 с.
4. Исследование влияния конструктивных и физических параметров на структуру движения газового потока в прямоугольном сепараторе / А.В. Дмитриев [и др.] // Вестник технологического университета. 2020. Т. 23, № 3. С. 85–88.
5. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Мубаракшина Р.Р. Повышение эффективности аспирационных систем при обработке крахмалистого сырья // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 18–22.
6. Влияние загрязнения пылеочистительного сепаратора мелкодисперсной пылью на энергетические затраты в ходе его эксплуатации / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22, № 8. С. 33–37.
7. Исследование изменения эффективности очистки газового потока от мелкодисперсных частиц прямоугольным сепаратором при разной степени забивки дугообразных элементов пылью / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22, № 8. С. 42–46.

8. Исследование очистки газового потока от различных фракций пылевидных частиц сепаратором трапециевидной формы / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22, № 10. С. 68–71.

УДК 621.565.93

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ОТ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ В РЕКУПЕРАТИВНОМ ТЕПЛООБМЕННОМ АППАРАТЕ С РЕБРИСТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

А.Р. Галимова<sup>1</sup>, И.И. Мифтахов<sup>2</sup>, Н.Ф. Сахибгареев<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>galimovaar00@mail.ru

Науч. рук. О.С. Попкова

Рассмотрена проблема передачи тепловой энергии от парогазовой смеси с постоянной температурой 220 °С. Представлена конструкция теплообменного аппарата с ребристой поверхностью и описано экспериментальное исследование передачи тепловой энергии от парогазовой смеси. Оребренная поверхность рекуперативного теплообменного аппарата позволила интенсифицировать передачу теплового потока, вследствие возникновения турбулентных завихрений парогазовой среды при ее движении между поперечно расположенными ребрами. В качестве нагреваемого теплоносителя использовалась вода, которую в дальнейшем планируется использовать для технологических и хозяйственных нужд. Изложена методика эксперимента и описаны измерительные приборы. Результаты исследований показали, что время выхода исследуемых параметров (температурный напор, тепловой поток и коэффициент теплопередачи) на стационарный режим составило 265 с. Значение теплового потока и коэффициента теплопередачи в среднем при объемном расходе холодного теплоносителя от 60 до 120 л/ч на стационарном режиме составило 4,3 кВт и 26 Вт/(м<sup>2</sup>·К), соответственно.

**Ключевые слова:** теплообменный аппарат, теплообмен, теплопередача, парогазовая смесь, рекуператор, теплообменная поверхность.

На сегодняшний день большинство промышленных объектов сталкиваются с актуальной задачей – осуществление эффективной передачи тепловой энергии от парогазовых выбросов [1–3]. Зачастую парогазовые выбросы представляют собой безвредную смесь газов, имеющую температуру выше 200 °С, которая выбрасывается в окружающую среду [4, 5]. Передача тепловой энергии от них осуществляется путем применения

рекуперативных теплообменных аппаратов, представляющих собой устройства поверхностного типа, в которых теплообмен происходит непрерывно между теплоносителями через разделяющую их стенку [6–8].

Целью данной работы является экспериментальное исследование теплообмена от парогазовой смеси при передаче тепла через ребристую поверхность на промышленном предприятии.

Подобрана конструкция рекуперативного теплообменного аппарата с ребристой поверхностью. Теплообменник представляет собой *U*-образную трубу с ребрами, а также имеет прямоугольную пластину для его крепления к воздуховоду и соединительную гофру. Оребрение трубы происходило методом навивки. Внутренняя поверхность трубы гладкая. Выполненное поперечное оребрение трубы позволяет максимально развить теплообменную поверхность в единице объема и существенно повысить показатели компактности и удельной металлоемкости.

Методику проведения эксперимента можно описать следующим образом: холодная вода непрерывно подводилась из резервуара воды, располагающегося на территории предприятия, в емкость объемом 20 л с наличием в ней погружного насоса с допустимым повышением давления до 2–3 бар, который транспортировал холодный теплоноситель (воду) в теплообменный аппарат с ребристой поверхностью. При этом в емкости для контроля начальной температуры холодной воды была установлена термопара, для подачи фиксированного расхода воды применялся ротаметр серии МВС-V-S-W-160 (поплавковый расходомер). Данный вид ротаметра позволял регулировать объемный расход  $G_V$  холодной воды в диапазоне от 10 до 120 л/ч. После отбора тепловой энергии у парогазовой смеси холодным теплоносителем через разделяющую их теплообменную поверхность, нагретая вода выходила из выходного отверстия теплообменника, в котором было установлено устройство для измерения температуры – восьмиканальный регулятор ОВЕН ТРМ 138. Далее нагретая вода удалялась в канализацию. Таким образом, в ходе проведения серии экспериментов фиксировались начальная и конечная температуры холодного теплоносителя (воды).

Проведенное экспериментальное исследование теплообмена от парогазовой смеси при передаче тепла через ребристую поверхность позволило подтвердить целесообразность и рентабельность врезки в воздуховод теплообменника для нагрева воды, которая будет применяться в технологических и хозяйственных нуждах. Оребренная поверхность рекуперативного теплообменного аппарата позволила интенсифицировать отвод



теплового потока, вследствие возникновения турбулентных завихрений парогазовой среды при ее движении между поперечно расположенными ребрами.

В ходе проведения ряда промышленных экспериментов было установлено, что время выхода на стационарный режим составляет 265 с. Значение теплового потока и коэффициента теплопередачи в среднем при объемном расходе холодного теплоносителя от 60 до 120 л/ч на стационарном режиме составило 4,3 кВт и  $26 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  соответственно. Полученные результаты позволили установить, что коэффициент теплопередачи обратно пропорционален термическому сопротивлению парогазовой фазы.

### Источники

1. Анализ прогрева форм из различных материалов / А.В. Дмитриев [и др.] // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19, № 20. С. 52–53.

2. Попкова О.С., Файзуллина А.И., Гильфанов К.Х. Определение параметров для эффективного горения малосернистого мазута // Научный журнал КубГАУ. 2017. № 132. С. 101–105.

3. Кочнева О.С., Павлов Г.И., Сахабутдинов Ж.М. Экспериментально-теоретические исследования нестационарного взаимодействия горячей капли с акустическим потоком газа в трубе // Вестник казанского технологического университета. 2007. № 3. С. 137–143.

4. Сахабутдинов Ж.М., Кочнева О.С., Павлов Г.И. Анализ термически возбуждаемых пульсационных колебаний газа в цилиндрической трубе // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2004. № 3/4. С. 13–26.

5. Шинкевич Т.О., Попкова О.С., Шинкевич О.П. Компрессионные тепловые насосы в системах отопления // Научный журнал КубГАУ. 2011. № 68. С. 125–136.

6. Снижение энергетических затрат при отводе низкопотенциального тепла от оборотной воды путем использования блока оросителя с гофрированными перфорированными пластинами / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22, № 10. С. 57–61

7. 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.

8. Шацкий В.П., Гулевский В.А., Спирина Н.Г. Моделирование работы пластинчатых теплообменников-рекуператоров // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2, № 4-2. С. 323–326.

УДК 621.928.6

## РАЗДЕЛЕНИЕ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА В КЛАССИФИКАТОРЕ

А.Р. Зарипов<sup>1</sup>, В.А. Суганова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань

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

<sup>1</sup>angelzar2@yandex.ru

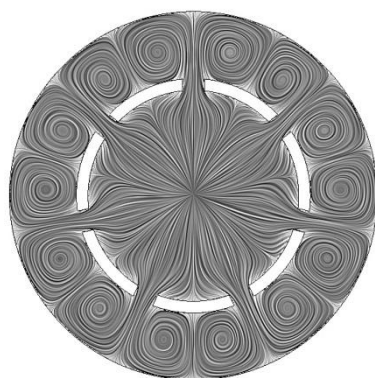
Науч. рук. О.С. Попкова

Рассмотрена проблема классификации сыпучего материала. Показано, что применяемые аппараты имеют ряд недостатков при разделении мелкодисперсных частиц. Предложена конструкция классификатора с соосно расположенными трубами. Показано, что конструктивное оформление устройства позволяет создавать центробежные силы высоких значений. В докладе представлена газодинамика в классификаторе с соосно расположенными трубами, полученная в программном комплексе ANSYS Fluent.

**Ключевые слова:** классификатор, сепаратор, сепарация частиц, улавливание частиц, центробежная сила, межтрубное пространство.

Важной задачей при производстве тонкодисперсного сыпучего материала является разделение на различные фракции [1–3]. Для разделения сыпучего материала на требуемые фракции используются классификаторы, например, циклонные сепараторы, в которых разделение сыпучего материала осуществляется за счет действия центробежных сил. Первая часть сыпучего порошка из бункера циклона, в виде уловленного материала возвращается в мельницу на повторное измельчение, вторая часть мелкодисперсного порошка, диспергированная в газовом потоке из выходного патрубка циклона, подается в рукавные фильтры, в которых мелкодисперсные частицы улавливаются и далее извлекается в виде конечного продукта. Недостатком применения циклонных сепараторов для фракционирования сыпучего материала на основе силикагеля является их низкая селективность, приводящая к частичной потере ресурсов при повторной транспортировке материала на измельчение в мельницу из циклона и дополнительным энергетическим затратам [4–6].

В работе [7] предложена конструкция классификатора. Принцип действия данного устройства можно описать следующим образом: измельченный материал, диспергированный в газовом потоке, подается в устройстве через входной патрубок, далее движется прямолинейно в нижнюю часть устройства по внутренней цилиндрической трубе до плоскости, на которой начинают располагаться прямоугольные щели, после чего основная часть газового потока с частицами в равных долях осесимметрично распределяется по щелям. При этом оставшаяся часть газового потока продолжает прямолинейное движение и направляется к отверстию. При прохождении газа с частицами через прямоугольные щели, поток разделяется на равные струи, каждая из которых под определенным углом движется из щели в противоположном направлении относительно друг друга в сторону внутренней стенки внешней цилиндрической трубы. При достижении внутренней стенки корпуса устройства 6 струями газа, они зеркально отражаются, образуя при этом устойчивые завихрения в межтрубном пространстве и продолжают движение в верхнюю часть устройства (см. рисунок). Прорезанные круглые отверстия в решетке позволяют поддерживать структуру завихрений в межтрубном пространстве. При вращении вихрей возникают центробежные силы, под действием которых частицы силикагеля размером более 30 мкм отбрасывают к стенкам и падают в бункер классификатора. Следует отметить, что часть газового потока с частицами, прошедшими через отверстие, осесимметрично разворачивается и движется в область межтрубного пространства. При этом газовый поток изменяет свое направление на  $180^\circ$ , вследствие чего наиболее крупные частицы выпадают из потока и оседают в бункере. Далее газовый поток с мелкодисперсными частицами силикагеля размером менее 30 мкм выходит из классификатора из выходного патрубка.



Образование устойчивой вихревой структуры газового потока в межтрубном пространстве классификатора с соосно расположенными трубами (вид сверху)

В докладе представлена газодинамика в классификаторе с соосно расположенными трубами, полученная в программном комплексе ANSYS Fluent.

### Источники

1. Dmitriev A.V., Zinurov V.E., Dmitrieva O.S. Collecting of finely dispersed particles by means of a separator with the arc-shaped elements. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912600007> // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 126.

2. Zinurov V.E., Popkova O.S., Nguyen Vu.L. Separator design optimization for collecting the finely dispersed particles from the gas flows. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912600043> // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 126.

3. Dmitriev A.V., Zinurov V.E., Dmitrieva O.S. Intensification of gas flow purification from finely dispersed particles by means of rectangular separator. DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012211 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineerin. 2018. Vol. 451.

4. Dmitriev A.V., Dmitrieva O.S., Zinurov V.E. Influence of elements thickness of separation devices on the finely dispersed particles collection efficiency. DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201822402073> // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 224.

5. Экспериментальные исследования очистки загрязненных газовых потоков от мелкодисперсных частиц в прямоугольном сепараторе / А.В. Дмитриев [и др.] // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21, № 12. С. 109–112.

6. Исследование изменения эффективности очистки газового потока от мелкодисперсных частиц прямоугольным сепаратором при разной степени забивки дугообразных элементов пылью / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22, № 8. С. 42–46.

7. Classification of bulk material from the gas flow in a device with coaxially arranged pipes / V.E. Zinurov [et al.]. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019301056> // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 193.

## УЛАВЛИВАНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В СЕПАРАТОРЕ С СООСНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ТРУБАМИ

А.Р. Зарипов<sup>1</sup>, Э.Р. Ханафеева<sup>2</sup>, Р.Я. Биккулов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань

<sup>2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

angelzar2@yandex.ru

Науч. рук. О.С. Попкова

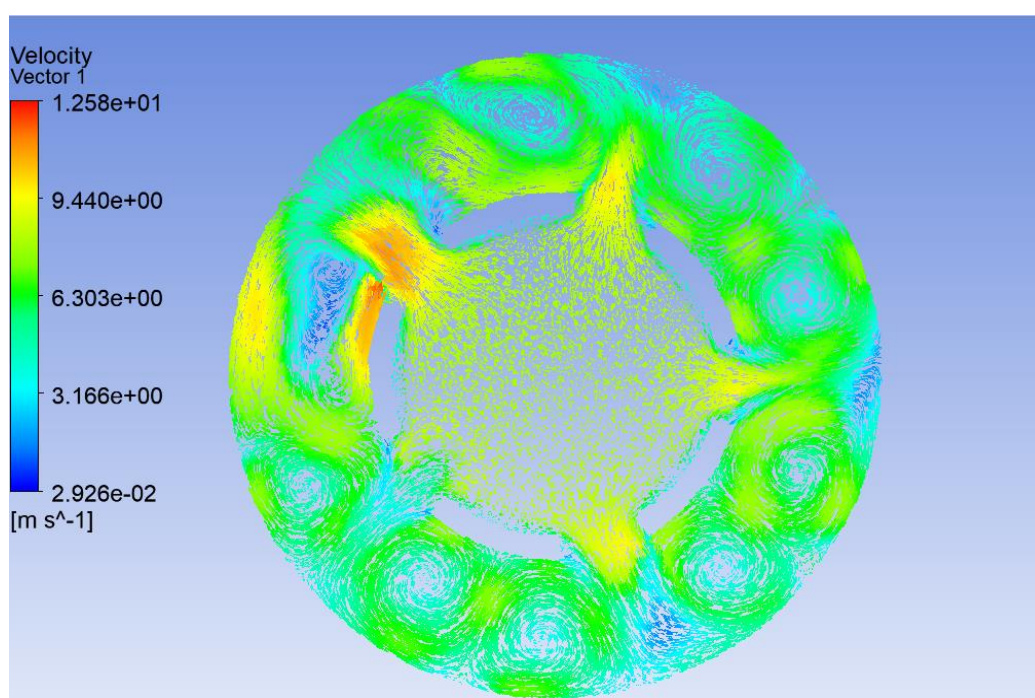
Рассмотрена проблема улавливания мелкодисперсных частиц из запыленных потоков. Представлена конструкция сепаратора с соосно расположенными трубами. Выполнены численные исследования в программном комплексе ANSYS Fluent. Показано, что потери давления в центробежном сепарационном устройстве составляют не более 70 Па при входной скорости газового потока от 1 до 15 м/с и ширине прямоугольной щели в диапазоне от 10 до 15 мм.

**Ключевые слова:** сепаратор, циклон, газовый поток, скруббер, фильтр, рукавный фильтр.

Для решения проблемы очистки газовых потоков от мелкодисперсных частиц существует большое количество разнообразных аппаратов, существенно отличающихся друг от друга конструкцией и принципом действия. Однако, на текущий момент времени универсального аппарата, удовлетворяющего всем технологическим требованиям, получено не было. Каждый из аппаратов имеет ряд положительных характеристик и недостатков. Среди всех аппаратов наиболее широкое применение получили циклонные сепараторы, которые относятся к сухой очистке. Простой принцип действия: очистка газового потока от частиц пыли осуществляется за счет выбивания частиц из структуры потока при ее завихрении в цилиндрической части аппарата, простота конструкции, долговечность и высокая эффективность очистки газов от частиц пыли размером более 20 мкм являются главными достоинствами данных аппаратов [1–5]. Как правило, для повышения эффективности очистки газовых потоков от частиц размером менее 20 мкм уменьшают диаметр цилиндрической части аппарата, вследствие чего увеличиваются значения центробежных сил, и используют несколько циклонных сепараторов, которые параллельно устанавливаются, образуя батарейные циклоны. При необходимости очистки газов от мелкодисперсных частиц после циклонных

сепараторов устанавливают вторую ступень очистки, в качестве которой обычно применяются рукавные или электростатические фильтры. Данные аппараты позволяют доочищать газовые потоки от мелкодисперсных частиц размером до 20 мкм с эффективностью близкой к 100 %. Однако, рукавные и электростатические фильтры нуждаются в периодическом обслуживании.

В работе [6] предложена конструкция сепаратора с соосно расположенными трубами. Данное устройство предлагается располагать после аппаратов грубой очистки. На рисунке представлено движение газовой среды в межтрубном пространстве. Следует отметить, что моделирование было выполнено в ANSYS Fluent.



Визуализация газодинамики в центробежном сепарационном устройстве с соосно расположенными трубами в различных сечениях

В ходе проведенных численных исследований было установлено, что потери давления в центробежном сепарационном устройстве составляют не более 70 Па при входной скорости газового потока от 1 до 15 м/с и ширине прямоугольной щели в диапазоне от 10 до 15 мм. Низкие потери давления обусловлены простотой конструкции, в частности образовавшиеся вихреобразования в межцилиндрическом пространстве практически не контактируют с поверхностями стенок, что позволяет минимизировать торможение газового потока, т. е. максимально снизить

потери давления, вызванные трением. При изменении ширины щели и входной скорости газового потока существенным образом изменяется вихревая структура потока в межцилиндрическом пространстве центрального сепаратора с соосно расположенными трубами. Наиболее стабилизированная структура вихревой структуры наблюдалась при входной скорости газового потока и ширины щели 10 м/с и 12 мм соответственно. Также было установлено, что в прямоугольных щелях по высоте скорость распределена неравномерно. Это вызвано тем, что при движении газового потока от входного патрубка в нижнюю часть устройства, сперва поток движется в близлежащую область, которая оказывается верхней частью прямоугольных щелей. Вследствие этого радиальная скорость движения газового потока выше в верхних частях прямоугольных щелей, чем в нижних.

### Источники

1. Dmitriev A.V., Zinurov V.E., Dmitrieva O.S. Intensification of gas flow purification from finely dispersed particles by means of rectangular separator. DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012211 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineerin. 2018. Vol. 451.

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 (194). С. 50–59.

3. Оценка времени работы пылеуловителя со скругленными сепарационными элементами / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24, № 3. С. 606–615.

4. Исследование изменения эффективности очистки газового потока от мелкодисперсных частиц прямоугольным сепаратором при разной степени забивки дугообразных элементов пылью / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22, № 8. С. 42–46.

5. Влияние загрязнения пылеочистительного сепаратора мелкодисперсной пылью на энергетические затраты в ходе его эксплуатации / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22, № 8. С. 33–37.

6. The gas flow dynamics in a separator with coaxially arranged pipes / V.E. Zinurov [et al.]. DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/202032903035> // MATEC Web of Conferences. 2020. Vol. 329.

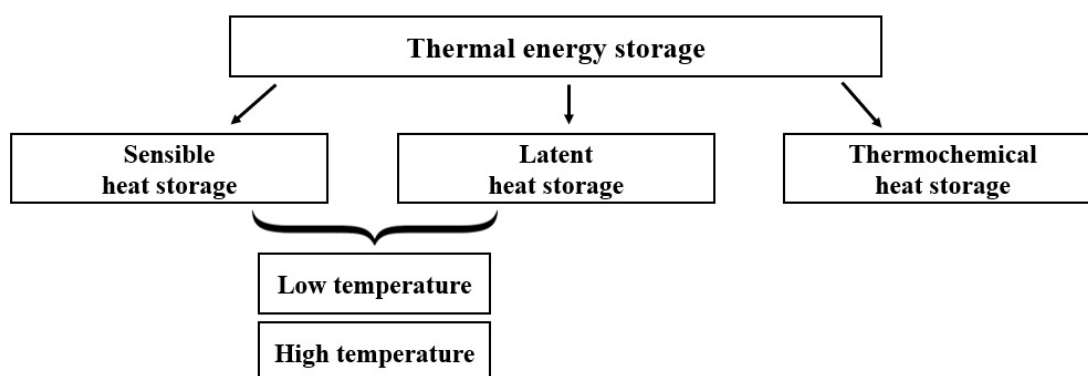
## ОЦЕНКА РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕПЛОВЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ

Р.П. Зотов, К.С. Моисеева  
 ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
 samasaka@yandex.ru  
 Науч. рук. Т.О. Шинкевич

Дана оценка развития технологий тепловых накопителей. Представлена классификация тепловых накопителей энергии. Показано, что явные накопители тепловой энергии работают по принципу аккумуляции энергии, скрытые накопители тепловой энергии работают по принципу преобразования энергии в ходе протекания процессов с фазовыми переходами, термохимические накопители тепловой энергии осуществляют процесс аккумуляции тепловой энергии и ее передачу в ходе протекания обратимых термохимических реакций.

**Ключевые слова:** тепловые накопители, явные накопители, скрытые накопители, термохимические накопители, преобразование энергии, накопитель.

Накопители тепловой энергии представляют собой материальные объекты хранения тепловой энергии и последующего ее использования в той или иной сфере [1]. В зависимости от способов преобразования энергии и ее хранения тепловые накопители подразделяются на явные, скрытые и химические накопители тепла [2]. Следует отметить, что некоторые исследователи в области аккумуляции энергии производят классификацию тепловых накопителей только по двум категориям: явные и скрытые накопители тепла. Однако, открытие и развитие новых технологий аккумуляции и передачи тепловой энергии требует более широкой классификации. Поэтому в данной работе классификация тепловых накопителей осуществлена по трем категориям (см. рисунок).



Классификация тепловых накопителей энергии



Явные накопители тепловой энергии работают по принципу аккумуляции энергии, которая передается накопителю в ходе процесса нагревания, то есть тепло передается от внешнего источника, имеющего более высокую температуру, чем накопитель. Наиболее простым примером явного накопителя тепла является кровать, которая обогревается грелкой перед сном. Также можно применять явные накопители тепловой энергии при охлаждении воды в градирнях при условии, что это рентабельно [3]. Следует отметить, что важную роль в явных накопителях тепловой энергии занимают тепловые свойства материалов (плотность, теплоемкость, объемная теплоемкость). Явные накопители тепла в некоторых случаях дополнительно подразделяют на твердые (твердотельные) и жидкие (вода, масло и др.).

Скрытые накопители тепловой энергии работают по принципу преобразования энергии в ходе протекания процессов с фазовыми переходами. Как правило, поглощение или выделение тепловой энергии осуществляется с изменением агрегатного состояния вещества, например, с твердого на жидкое или наоборот. Наиболее простым примером скрытого накопителя тепла является производство льда во внепиковые периоды и его использовании для систем кондиционирования в более позднее время [4].

Термохимические накопители тепловой энергии осуществляют процесс аккумуляции тепловой энергии и ее передачу в ходе протекания обратимых термохимических реакций. Следует отметить, что накапливаемое и выделяемое тепло эквивалентно теплу (энтальпии) реакции.

Явные и скрытые накопители тепловой энергии также подразделяют на низкотемпературные и высокотемпературные системы. При этом диапазон температур, характеризующий определенную категорию (низкотемпературные или высокотемпературные) различен для явных и скрытых накопителей тепла. К категории низкотемпературных явных накопителей тепловой энергии относят диапазон протекания процессов при температурах до 100 °С, к скрытым накопителям тепловой энергии – до 120 °С. К категории высокотемпературных явных накопителей тепловой энергии относят диапазон протекания процессов при температурах выше 100 °С, к скрытым накопителям тепловой энергии – выше 120 °С (см. рисунок).

Проведенное исследование показало, что технологии тепловых накопителей широко применяются повсеместно, имеют высокую вероятность масштабирования и перспективу дальнейшего развития. Однако на развитие данных технологий существенным образом влияет как межгосударственная политика, так и проводимая политика внутри страны. Поэтому регулирование политики является ключевым фактором успешного и эффективного развития технологий тепловых накопителей как в России, так и в мире [5].

### **Источники**

1. Zinurov V.E., Nikandrova M.V., Kharkov V.V. Assessment of Thermal Storage Technologies in Energy Sector // Proc. of the 2020 Ural Smart Energy Conference (USEC). 2020. Pp. 68–71.

2. Hu Z. Energy Storage for Power System Planning and Operation. John Wiley & Sons, 2020. 248 p.

3. Снижение энергетических затрат при отводе низкопотенциального тепла от оборотной воды путем использования блока оросителя с гофрированными перфорированными пластинами / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22, № 10. С. 57–61.

4. Review on concentrating solar power plants and new developments in high temperature thermal energy storage technologies / M. Liu [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 53. Pp. 1411–1432.

5. Zatsarinnaya Y., Logacheva A., Amirov D. Contamination of Solar Panels as Factor in Selecting Location for Construction and Operation of Solar Power Plants in Russia. DOI: 10.1109/ICIEAM.2019.8743086 // 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing. 2019. 5 p.

## Секция №. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ

УДК 628.16

### СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

С.А. Дмитриева  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
dmitrieva.sonya@mail.ru  
Науч. рук. Г.К. Шагиева

Рассмотрены современные способы очистки воды, которые могут применяться в энергетике и промышленности с целью удаления нежелательных химических соединений, органических и неорганических примесей, биологических загрязнителей, приводящих к нарушению работы, поломке оборудования и, как следствие, к целому ряду нежелательных последствий.

**Ключевые слова:** очистка воды, осаждение, прямой осмос, очистка с помощью солнечного света, опреснение ультразвуковыми волнами, пароконденсационное опреснение, Эуглена Биофильтрация.

Различные методы очистки воды используются для того, чтобы сделать воду безопасной для потребителя. Вода природных источников содержит огромное количество различных веществ в растворенном состоянии либо в виде механических примесей. Чтобы удалить примеси, содержащиеся в воде, необходимо подвергать её соответствующей очистке. Схемы и методы водоподготовки зависят от качества и количества воды, типа применяемого на предприятии оборудования, требований, предъявляемых к качеству воды [1].

В рамках настоящей работы рассмотрено несколько современных способов очистки воды от различных загрязнений, которые могут применяться в энергетике и промышленности.

**Прямой осмос.** Лауреат Европейской премии изобретателей «Аквапорин» использует естественное движение воды между отдельными клетками в природе и белками, называемыми «аквапоринами». Белки пропускают воду между клеточными мембранами, препятствуя прохождению загрязняющих веществ, таких как минералы и соли. Этот принцип подпадает под «биомембранную технологию» [2].

Эта технология использует процесс «прямого осмоса» для переноса молекул воды через мембрану с участием аквапоринов, объединенных в подкладочный слой. Это энергосберегающий метод очистки воды до сверхчистого состояния для промышленного применения [3].

**Очистка с помощью солнечного света.** Команда под руководством Энн Моррисси из Дублинского городского университета разработала легкую систему очистки воды, которая использует солнечный свет. Система включает в себя два компонента:  $\text{TiO}_2$  (диоксид титана) и графен.  $\text{TiO}_2$  обычно полагается на ультрафиолетовый свет, и липкий графен улавливает загрязняющие вещества по мере их прохождения. Есть надежда, что эта система сможет удалить из воды пестициды, фармацевтические препараты и другие потенциально вредные загрязнители. Поскольку система использует только солнечный свет, она энергоэффективна и экологична [4].

**Опреснение ультразвуковыми волнами.** «Aquavus» – изобретенная британскими инженерами и учеными система для очистки и опреснения океанской воды ультразвуковыми волнами. Один блок системы очистки может обрабатывать 3 000 л воды в день. Система использует мощный ультразвук, чтобы взорвать нечистую воду на частицы размером менее 10 мкм. Микрочастицы испаряются и конденсируются, образуя чистую воду [5].

**Парокомпрессионное опреснение.** Устройство для очистки воды под названием «Slingshot», разработанное Дином Каме, создает питьевую воду практически из любого источника, каким бы грязным он ни был, путем парокомпрессионной дистилляции. Устройство питается от двигателя Стирлинга, работающего на горючем топливе. Он может работать, используя коровий навоз в качестве топлива, и не нуждается в фильтрах [6].

Большинство вышеупомянутых технологий являются либо прототипами, либо имеют ограниченное применение. Их коммерческое применение запланировано в далеком будущем. Но уже сейчас можно выделить основные преимущества и недостатки каждого метода. Наиболее эффективным способом считается парокомпрессионное опреснение посредством устройства «Slingshot», так как в отличие от других методов его использование не требует дополнительных фильтров и исключает вторичное заражение воды. Единственный, но очень значимый недостаток данного метода в том, что для его работы необходимо электричество, а в бедных странах и сельских районах с ним бывают проблемы.

Очистка и возобновление «использованной» воды – это рациональные и устойчивые способы использования природного ресурса. Изобретатели разрабатывают экологически чистые технологии повторного использования воды, чтобы люди стали частью цикла гидратации, который имеет минимальные выбросы с точки зрения потерь воды. Новые водные технологии действительно являются лучшим выбором для безопасного будущего в области водных ресурсов.

## Источники

1. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике: учеб. пособие для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 309 с.
2. Латыпов И.А., Герасимов М.К. Исследование механизма самопроизвольных осмотических процессов массопереноса в системах биологического происхождения // Вестник технологического университета. 2008. № 3. С. 85–91
3. Ресурсосберегающие и энергоэффективные мембранные технологии в промышленной водоподготовке / А.А. Пантелеев [и др.] // Мембраны – 2010: тез. докл. Всерос. науч.-техн. конф. М., 2010. Т. 2. С. 113.
4. Да Роза А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы: учеб. пособие. М.: МЭИ, Интеллект, 2010. 704 с.
5. Мосин О.В. Физико-химические основы опреснения морской воды // Сознание и физическая реальность. 2012. № 1. С. 19–30.
6. Jorge R. Lara, Omorinsola Osunsan and Mark T. Holtzaple. An Advanced Mechanical Vapor-Compression Desalination System // Desalination, Trends and Technologies / Ed. by M. Schorr. InTech, 2011. Pp. 129–148.

УДК 597.2.5

## ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА УСТАНОВОК С ЗАМКНУТЫМ ЦИКЛОМ ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ ПО ВЫРАЩИВАНИЮ ОСЕТРОВЫХ ВИДОВ РЫБ

В.В. Ильина, С.Д. Борисова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
ilina-viktoriya@mail.ru

Исследования гидрохимического режима в установках с замкнутым циклом водообеспечения (УЗВ) позволяют выяснить влияние содержания химических веществ на рост и развитие молоди осетровых. Продукты обмена, накапливаясь в воде, отрицательно влияют на окислительно-восстановительные процессы в организме. Рассмотрены такие вещества как нитраты ( $\text{NO}_3$ ), нитриты ( $\text{NO}_2$ ), аммоний ( $\text{NH}_3$ ), аммиак ( $\text{NH}_4$ ), железо (Fe), а также содержания растворенного кислорода.

**Ключевые слова:** осетровые, стерлядь, гидрохимический режим, молодь, нитраты, нитриты, аммиак, токсичность.

После зарегулирования реки Волги резко сократилось количество осетровых рыб. Для пополнения популяции рыб с середины 80-х гг. началось активное развитие аквакультуры [1, 2]. В настоящее время в Республике Татарстан разведением и выпуском осетровых рыб в естественные водоемы занимается ООО «Биосфера Фиш». Объект воспроизводства – стерлядь. Она является наиболее ценным видом в составе ихтиофауны региона.

На предприятии используется технология выращивания рыб в установках замкнутого водоснабжения. Водосточником является артезианская скважина.

Молодь получают от собственных производителей и подращивают ее до 10 г. Плотность посадки в лотках производится по нормативам после выклева 5 тыс. экз./м<sup>3</sup>, а после перехода на активное питание плотность 2 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Далее производят сортировку рыб по размерам, плотность посадки определяется по массе.

Кормление малька начинается с того момента как у них выпадает меланиновая пробка. Вводится живой корм артемия и декапсулят артемии, после постепенный переход на сухой корм Sorpens.

Нормы кормления рассчитываются по биомассе и по поедаемости корма.

Оптимальный температурный режим для питания и роста личинок осетровых на рыбоводных заводах составляет от 17 до 20 °С, для мальков – от 19 до 24 °С [3]. При этом скорость роста напрямую зависит от содержания в воде растворенного кислорода. Оптимальная концентрация кислорода для личинки в пределах 7–9 мг/л, для мальков – не ниже 5 мг/л. Оптимальный уровень рН ограничен величиной 7–8. Продукты обмена, накапливающиеся в воде, отрицательно влияют на окислительно-восстановительные процессы в организме. Содержание ионов аммония в воде более 0,12 мг/л для личинок и более 0,15 мг/л для мальков, как правило, приводит к интоксикации и повышенной смертности рыб.

Для хорошего развития и роста рыбы необходимо поддерживать определенные условия водной среды. Гидрохимический режим анализируется ежедневно по таким показателям как нитраты (NO<sub>3</sub>), нитриты (NO<sub>2</sub>), аммоний (NH<sub>3</sub>), аммиак (NH<sub>4</sub>), железо (Fe) и рН. Для определения концентрации этих веществ используются капельные тестеры, благодаря которым, можно узнать по цветовой палитре какое количество вещества присутствует в воде.

При выращивании осетровых необходимо использовать воду, уровень рН которой колеблется от 7 до 8, допустим рН от 6,5 до 9. Критическими значениями рН для осетровых являются 4,5 и 9,2. Значения рН влияют и на инкубирование икры, она не выживает при рН ниже 4,5 и выше 9, но при рН = 5 выживаемость является приемлемой [4].

Изучив изменения анализируемых показателей в УЗВ ООО «Биосфера-Фиш», можно сделать вывод о том, что концентрация нитритов варьирует от 0 до 0,2 мг/л при ПДК = 0,2 мг/л, нитратов от 0 до 5 мг/л при ПДК = 60 мг/л, аммония от 0 до 0,3 при ПДК = 2 мг/л, аммиака от 0 до 0,001 мг/л при ПДК = 0,05 мг/л, железа – 0 мг/л при ПДК = 0,5 мг/л.

Токсичность нитритов зависит от количества вещества и размера рыбы, наибольшую устойчивость проявляют мальки. Для осетровых видов рыб порог токсичности нитритов колеблется от 0,1 до 1 мг/л. Нитриты являются неустойчивыми образованиями, которые окисляются в нитраты при высоком содержании кислорода в воде (80–100 % насыщения и более) [5]. Окисление нитритов происходит в присутствии нитрифицирующих бактерий, которые преобразовывают нитриты в нитраты, более стабильные и являющиеся токсичными лишь при высокой концентрации – от 100 до 300 мг/л [6]. В водных растворах аммиак содержится в двух формах: ионизированный аммиак или аммоний ( $\text{NH}_4^+$ ) и неионизированный аммиак ( $\text{NH}_3$ ). В связи с тем, что большее токсическое действие на рыб оказывает аммиак ( $\text{NH}_3$ ), необходимо знать концентрацию аммония в общем количестве аммиака. Аммиак находится в равновесии с аммонием, где в большей степени зависимость идет от рН и в меньшей степени от температуры и ионной силы воды [5]. Для взрослой стерляди летальная концентрация аммиака в воде составляет около 0,45 мгN/л, при нересте она составляет 0,3–0,4 мг/л, при развитии икры – 0,35 мг/л, при развитии предличинок и личинок – 0,025 мг/л, в мальковый период развития предельная концентрация возрастает до 0,44 мгN/л. При концентрации аммиака от 0,10 до 0,15 мгN/л у стерляди отмечаются вялость, потеря аппетита и связи с этим ухудшение роста, иногда такая концентрация не оказывает влияния на рост. Концентрация 0,001 мгN/л не оказывает никакого вредного влияния на стерлядь при содержании даже в течение длительного времени.

Температура и кислород измеряется с помощью оксиметра. Температура в лотках УЗВ ООО «Биосфера – Фиш» изменяется от 17,5 до 20,7 °С, а количество кислорода – от 6,7 до 9,8 мгO<sub>2</sub>/л.

Снижение концентрации растворенного кислорода в воде до 50 % приводит к ухудшению аппетита и темпа роста молоди, даже если все остальные условия по качеству воды были соблюдены. Из литературных данных известно, что снижение концентрации кислорода угнетающе действует на липолитическую активность кишечных ферментов у стерляди [5]. Если разница в содержании кислорода на входе и выходе из бассейна 2–3 мг/л, то это говорит о нормальной плотности посадки, если более – об уплотненной посадке, если менее 2 мг/л – о разреженной посадке или о заболевании рыбы [7]. При температуре 20 °С содержание кислорода в воде должно составлять 8 мг/л (100%-е насыщение) [5]. Известно, что стерлядь хорошо переносит насыщение воды чистым кислородом до 300–350 % [8]. При температуре воды 21–26 °С у стерляди отмечается определенный рост и сохранение жизнеспособности (как у молоди, так и у взрослой рыбы), когда концентрация кислорода на входе была 20 мг/л (300 %) [7].

Таким образом, колебания концентраций химических веществ связаны с рядом факторов: с плотностью посадки, температурой воды, концентрацией растворенного кислорода в воде, видом корма и нормами кормления. Условия водной среды формируются под воздействием следующих факторов: качество и состав воды, поступающей в систему, регулирование температурного, гидрохимического и кислородного режимов.

### **Источники**

1. Калайда М.Л. Биологические основы рыбоводства. Краткая теория и практикум: учеб. пособие. СПб.: Проспект Науки, 2014. 224 с.
2. Калайда М.Л., Говоркова Л.К. Методы рыбохозяйственных исследований. СПб.: Проспект Науки, 2013. 288 с.
3. Абросимова Н.А. Корма и кормление молоди осетровых рыб в индустриальной аквакультуре: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1997. 126 с.
4. Рост и развитие стерляди при выращивании в условиях замкнутого водоснабжения / К.Н. Сыздыков [и др.] // Актуальные вопросы сельскохозяйственных наук в современных условиях развития страны: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2015. С. 99–103.
5. Метелев В.В., Канаев А.И., Дзасохова Н.Г. Водная токсикология. М.: Колос, 1971. 247 с.



6. Алабастер Дж., Ллойд Р. Критерии качества воды для пресноводных рыб. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. 384 с.
7. Пономарев С.В., Иванов Д.И. Осетроводство на интенсивной основе. М.: Колос, 2009. 311 с
8. Канидьев А.Н. Биологические основы искусственного разведения осетровых рыб. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. 216 с.

УДК 574.5

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ БИООБРАСТАНИЙ В БИОФИЛЬТРАХ МАЛЫХ УСТАНОВОК С ЗАМКНУТЫМ ЦИКЛОМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

М.Л. Калайда, В.В. Бабилова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
lera.babikova.1995@mail.ru

Рассмотрены структура и соотношение групп в перифитоне биофильтра малой рыбоводной установки с замкнутым циклом водоснабжения при разных плотностях посадки рыб и при выращивании осетровых рыб и клариевых сомов. Определены количественные показатели перифитона рыбоводной установки замкнутого водообеспечения.

**Ключевые слова:** установка замкнутого водообеспечения, биофильтр, перифитон,

В последние годы для удовлетворения растущего спроса на рыбу, во всем мире активно развивается индустриальная аквакультура на базе установок с замкнутым циклом водоснабжения (УЗВ). Одним из ключевых звеньев таких установок выступает биологический фильтр. В процессе функционирования биофильтра индикаторной группой становится перифитон, формирующийся на элементах загрузки биофильтра. Перифитон, благодаря приуроченности к субстрату, играет первостепенную роль при оценке качества воды и позволяет судить о её среднем загрязнении за определённый промежуток времени.

В связи с этим было проведено исследование изменения количества видов и групп перифитона в зависимости от времени выдержки пластин для обрастаний в исследуемых биофильтрах.

Исследование проводилось на малой УЗВ кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ» с разными объектами выращивания.

Для исследования перифитона активного ила использовали пластины для обрастаний, которые при помощи тросика опускались в биофильтры. Исследования проведены по шести одновременно помещенным в два биофильтра пластинам (всего три), которые просматривались через трое, шестеро и девять суток. Весь дальнейший анализ осуществлялся путем микрокопирования под покровным стеклом [1, 3, 4].

В таблице представлено соотношение групп гидробионтов в составе перифитона с экспериментальных пластин в биофильтрах УЗВ с разными видами рыб.

Представленность групп гидробионтов в биофильтрах установок с замкнутым циклом водообеспечения

Группы гидробионтов	УЗВ					
	с осетровыми рыбами			с клариевыми сомами		
	1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я
Растительные жгутиконосцы	1	3	1	–	1	1
Раковинные корненожки	–	1	–	1	1	1
Инфузории	5	6	9	3	2	5
Коловратки	1	2	3	2	4	3
Олигохеты	2	3	2	1	1	2
Круглые черви	–	1	1	–	1	1
Водяные клещи	–	–	–	1	1	1
Всего	9	16	16	8	9	14

Проведенное исследование выявило в перифитоне биофильтра осетровой рыбоводной установки 16 видов и форм организмов, относящихся к следующим систематическим группам: растительные жгутиконосцы, амёбы, раковинные корненожки, инфузории, коловратки, олигохеты, круглые черви.

По количеству видов и форм в перифитоне биофильтра осетровой установки преобладали инфузории (55 %, 37 % и 56 % от общего числа видов каждой сѐмки).

Проведенное исследование в биофильтре сомовой рыбоводной установки выявило 14 видов и форм организмов, относящихся к следующим систематическим группам: растительные жгутиконосцы, амёбы, раковинные корненожки, инфузории, коловратки, олигохеты, круглые черви, водные клещи.

По количеству видов и форм в перифитоне биофильтра сомовой установки также преобладали инфузории (37 % и 36% от общего числа видов каждой сѐмки). Во второй сѐмке преобладали коловратки (44 %).

Анализ результатов обследования пластин выявил последовательность их заселения перифитоном. В биофилтре УЗВ в составе перифитона отмечено увеличение разнообразия с 9 до 16 видов и форм за 9 суток. В биофилтре УЗВ с клариями за тот же промежуток времени обрастание включило от 8 до 14 видов и форм. Выявилось, что водяные клещи встречались только в биофилтре с клариевыми сомами.

### Источники

1. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли / М.М. Забелина [и др.]. М.: Советская наука, 1951. 619 с.
2. Кутикова Л.А. Фауна аэротенков: атлас. Л.: Наука, 1984. 264 с.
3. Липеровская Е.С. Гидробиологические индикаторы состояния активного ила и их роль в биологической очистке сточных вод // Итоги науки и техники ВИНТИ. 1976. Т. 4. С. 169–217.
4. Мажейкайте С.И.. Ресничные инфузории // Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР / под ред. Л.А. Кутиковой, Я.И. Старобогатова. Л.: Гидрометеиздат, 1977. С. 46–98.

УДК 639. 371.374

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАСЕЛЕНИЯ МОЛОДЬЮ КРАСНОКЛЕШНЕВЫХ РАКОВ (*CHERAX QUADRICARINATUS*) ИСКУССТВЕННЫХ ТРУБЧАТЫХ УКРЫТИЙ

М.Л. Калайда<sup>1</sup>, Г.Д. Ибрагимова<sup>2</sup>, В.П. Степанова<sup>3</sup>  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>kalayda4@mail.ru, <sup>2</sup>gulnaz.ibragimova777@gmail.com, <sup>3</sup>veronichka\_stepanova\_01@mail.ru

Рассмотрены данные по аквакультуре ракообразных, уделено особое внимание австралийскому красноклешневому раку. Оценена эффективность использования раками трубчатых укрытий для сохранения молоди.

**Ключевые слова:** аквакультура, ракообразные, австралийский красноклешневый рак, искусственные укрытия.

Наибольшее промысловое значение из представителей класса высших раков имеют десятиногие ракообразные (*Decapoda*) – обширный отряд, включающий около 15 000 видов. Их доля в общем производстве мировой аквакультуры составляет около 23 %. Общий объем производства

ракообразных в мире достигает 13,4 млн т. Лидером является Китай, на долю которого приходится 58 % объемов выращивания. В качестве объектов аквакультуры в статистике ФАО (Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных наций) упоминается 45 видов ракообразных: креветок – 26 видов, крабов – 9 видов, речных раков – 7 видов, лангустов – 3 вида. В общем объеме аквакультуры ракообразных речные раки занимают 10 %, крабы – 15 % и основной объем приходится на креветок – 75 % [1].

На территории России в качестве объекта аквакультуры австралийский красноклешневый рак (*Cherax quadricarinatus*) появился сравнительно недавно, но благодаря целому ряду хозяйственно-полезных качеств, вызывает всё больший интерес у специалистов. Объем его выращивания пока не велик – 5 т в год, однако планируется его увеличение до 80 т [2].

По сравнению со многими другими десятиногими ракообразными этот рак характеризуется отсутствием пелагических личиночных стадий развития, высокой скоростью роста (возможность достижения товарной массы за 9 месяцев с момента выхода из икры), быстрым половым созреванием (7–12 месяцев), неприхотливостью к условиям содержания [3].

При этом одной из существенных проблем культивирования *Cherax quadricarinatus* является высокий уровень агрессии и каннибализма в группах с повышенной плотностью содержания. Каннибализм характерен для большинства видов декапод. Фактор наличия каннибализма может существенно снижать эффективность производства продукции. Другая проблема – снижение и неравномерность роста особей в группах с высокой плотностью содержания. Изучение этих явлений и поиск решений, направленных на уменьшение их влияния, – одно из приоритетных направлений в аквакультуре ракообразных [4].

Проблемы снижения пресса каннибализма могут решаться путем подбора индивидуальных искусственных укрытий для молоди раков. В связи с этим, целью данной работы стала оценка эффективности заселения искусственных трубчатых укрытий молодью красноклешневых раков.

Материалом для данного исследования послужили одновозрастные экземпляры красноклешневых раков (рис. 1), которые сошли с брюшка самки 30 декабря 2020 г. Для исследования были сделаны шесть искусственных укрытий, из которых в трех были использованы по 10 трубок длиной 10 см и диаметром 20 мм каждая. В оставшихся трех

были использованы по 10 трубок длиной 10 см и диаметром 25 мм каждая. Наблюдения проводились ежедневно утром в течение февраля. Оценивалось заселение искусственных укрытий раками.



Рис. 1. Красноклешневый рак в двухмесячном возрасте

Проведенное исследование выявило, что сложные трубчатые укрытия хорошо осваивались молодью раков. В наборах с трубками диаметром 25 мм ежедневно сидело от 3 до 9 экз. В наборах с трубками диаметром 20 мм ежедневно сидело от 2 до 7 экз. Использование молодью раков домов с разным размером входного отверстия позволяло снизить пресс крупных рачков на мелких. Проведенная оценка эффективности заселения искусственных трубчатых укрытий приведена на рис. 2, где за максимальную оценку эффективности (100 %) принято заселение каждого сложного укрытия 10 экз. (в каждой трубке по 1 раку).

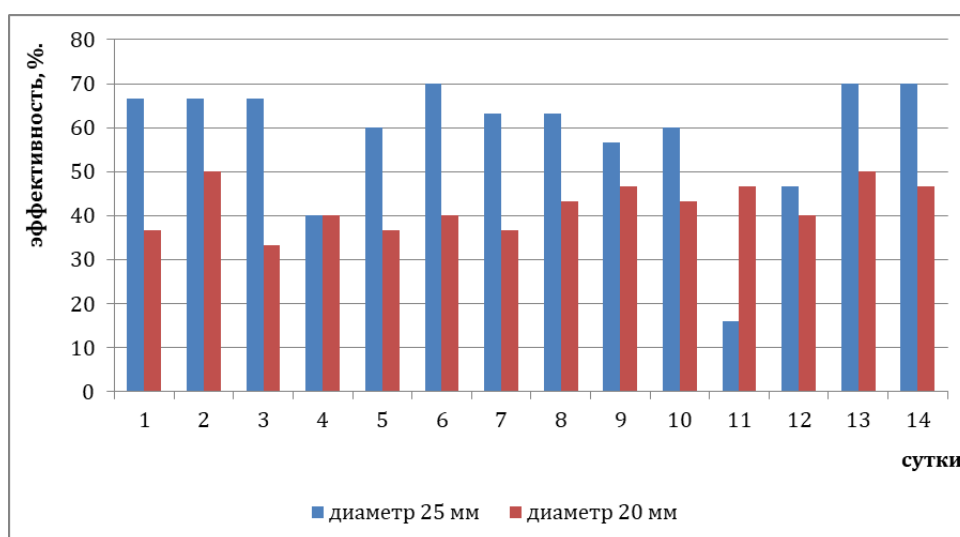


Рис. 2. Оценка эффективности заселения искусственных трубчатых укрытий

Анализ эффективности заселения искусственных трубчатых субстратов (рис. 2) выявил: эффективность заселения группы из трубок большего диаметра составила в среднем от 40 до 70 %, а трубчатых укрытий с диаметром трубок 20 мм – от 33,3 до 50 %.

Проведенное исследование выявило возможность снижения пресса крупноразмерной молодежи раков за счет использования искусственных укрытий разного размера.

### Источники

1. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры. Достижение целей устойчивого развития [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fao.org/3/i9540ru/I9540RU.pdf> (дата обращения: 25.02.2021).

2. Федеральное агентство по рыболовству [Электронный ресурс]. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 25.02.2021).

3. Жигин А.В., Арыстангалиева В.А., Ковачева Н.П. Влияние плотности посадки молодежи австралийского рака на результаты подращивания в УЗВ [Электронный ресурс]. URL: <http://repository.nkzu.kz/7644/> (дата обращения: 25.02.2021).

4. Лагуткина Л.Ю., Пономарев С.В. Новый объект тепловодной аквакультуры – австралийский красноклешневый рак (*Cherax quadricarinatus*) [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novyy-obekt-teplovodnoy-akvakultury-avstraliyskiy-krasnokleshnevyy-rak-cherax-quadricarinatus/viewer> (дата обращения: 25.02.2021).

УДК 639.3

## НЕКОТОРЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПАНГАСИУСА В УСЛОВИЯХ УСТАНОВКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА ВОДОБЕСПЕЧЕНИЯ

М.Л. Калайда<sup>1</sup>, Ф.А. Исмагилов<sup>2</sup>  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>kalayda4@mail.ru, <sup>2</sup>f9033422551@yandex.ru

Рассмотрены объекты аквакультуры – сомы *Pangasius sutchi* и *Pangasius sanitwongsei*, обеспечивающие всё большие темпы в производстве продукции аквакультуры. Также рассмотрены темпы роста при разных условиях выращивания.

**Ключевые слова:** аквакультура, производство, темпы роста, сомы, *Pangasius sutchi*, *Pangasius sanitwongsei*.

В аквакультуре для выращивания используются два основных вида сомов пангасиусов – *Pangasius sutchi* и *Pangasius sanitwongsei*, которые ранее в литературе описывались как *Pangasius hypophthalmus* (Sauvage, 1878) и *Pangasius beani* (Smith, 1931).

По данным ФАО (Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных наций) производство сомов, включая пангасиусов, с каждым годом увеличивается: в период с 2010 г. по 2018 г. производство пангасиуса большеглазого увеличилось с 1 749,4 тыс. т до 2 359,5 тыс. т (рис. 1) [1]. Основной страной производителем пангасиев является Вьетнам.

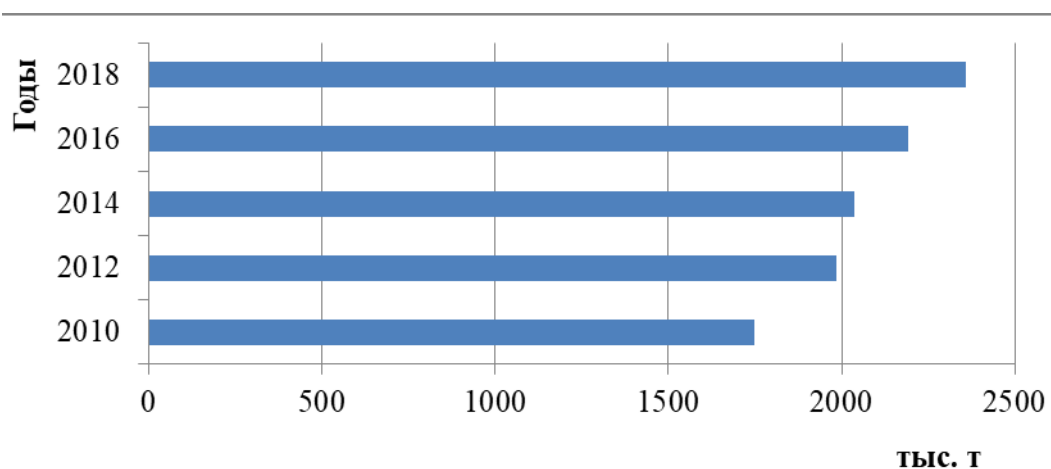


Рис. 1. Производство пангасиуса в мире по [1]

В целом, в 2018 г в мире было произведено около 179 млн т рыбы, из которых 82 млн т, были продукцией аквакультуры. Из этого объема 156 млн т, что эквивалентно 20,5 кг на душу населения в год, было использовано для потребления человеком. Остальные 22 млн т предназначались для использования в непищевых целях, прежде всего для изготовления рыбной муки и рыбьего жира. В секторе аквакультуры было произведено 46 % общего объема продукции и 52 % рыбы для потребления человеком. Одним из крупнейших производителей рыбы остался Китай, где в 2018 г. было произведено 35 % рыбы в мире. Что касается остальных районов, то значительная доля продукции в 2018 г. была произведена в Азии (34 %).

*Pangasius sanitwongsei* или высокоплавничный пангасиус характеризуется следующими биологическими особенностями.

1. Имеет плотное, вытянутое мускулистое тело без чешуи с небольшой плоской головой и большим ртом, что в сочетании с высоким и острым, треугольным спинным плавником и такой же острой верхней

лопастью хвостового плавника придает этому сому сходство с акулой, за что его и называют акульим сомом или пресноводной акулой. Окрас высокоплавничного пангасиуса равномерно серый, немного светлеющий к брюху. У молодых особей имеется пара горизонтальных полос вдоль тела от жабр до хвостового плавника, однако в процессе взросления эти полосы исчезают, окрас становится равномерным и нередко несколько темнеет. Плавники (кроме спинного) обычно имеют серебристый окрас с контрастной черной или темно-серой окантовкой.

2. В естественной среде обитания эта рыба достигает почти полутора метров в длину и набирает массу более 40 кг, в условиях аквакультуры обычно вырастает до 50–70 см, редко – до 1 м.

3. Рыба стайная, но может обитать и отдельными особями. Плотность посадки, используемая для аквакультурного содержания взрослых особей составляет 4 экз/м<sup>3</sup>.

4. По типу питания вид относится к всеядным, предпочитает белковую пищу, может хищничать [2].

*Pangasius sutchi* – низкоплавничный пангасиус отличается от высокоплавничного акульего сома в первую очередь своим спинным плавником, который у этого подвида короче и имеет округлое окончание [3]. Второе внешнее отличие – в устройстве головы – относительно короткий рот.

Из отличий во внешнем виде пангасиусов: низкоплавничный пангасиус более контрастный – почти черный на спине и серебристый на брюшке, вдоль всего тела присутствуют контрастные горизонтальные полосы, бледнеющие с возрастом рыбы, но в отличие от высокоплавничного пангасиуса не исчезающие вообще. Плавники светло-серые или серебристые, с четкой черной окантовкой. Имеются отличия и в других биологических характеристиках: низкоплавничный пангасиус на соответствующий возраст мельче высокоплавничного. Он также относится к подвижным стайным рыбам, предпочитающим находиться в стае при плотности посадки от пяти-шести особей на каждый м<sup>3</sup>, всеяден, достаточно мирный [4].

С позиций аквакультуры важнейшими биологическими особенностями являются показатели скорости роста рыб. Скорость роста пангасиуса исследовалась на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура». Начальная масса выращиваемой молоди низкоплавничного пангасиуса составила 1,72 г. Наблюдения за ростом молоди проводились с ноября 2020 г. по февраль 2021 г. Контрольные измерения проводились один раз в десять дней.



Результаты исследований роста молоди низкоплавничного пангасиуса представлены на рис. 2 в сравнении с данными Вьетнамского рыбководного хозяйства по выращиванию пангасиусов [5].

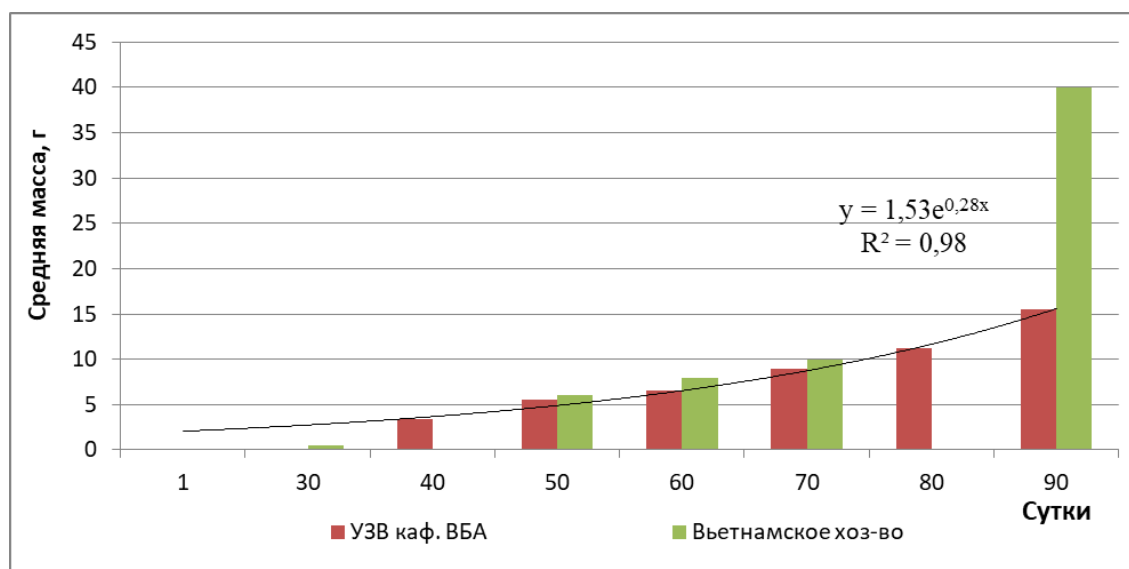


Рис. 2. Темпы роста низкоплавничного пангасиуса

Исследования показали, что темпы роста пангасиуса в условиях установки с замкнутым циклом водоснабжения несколько уступают скорости роста пангасиусов в садковых хозяйствах Вьетнама. Особая разница начинает отмечаться по прошествии 70 суток с начала выращивания. Эта разница может быть связана с использованием сухих искусственных кормов в условиях установки. В условиях садкового выращивания пангасиусов кормят высокобелковыми белково-витаминными добавками. Таким образом, для использования пангасиуса в установках с замкнутым циклом водообеспечения необходимо использование специализированных кормов.

### Источники

1. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры [Электронный ресурс]. URL: [aquacultura.org/upload/files/pdf/library/fao/Состояние%20мирового%20рыболовства%20и%20аквакультуры%202018.pdf](http://aquacultura.org/upload/files/pdf/library/fao/Состояние%20мирового%20рыболовства%20и%20аквакультуры%202018.pdf) (дата обращения: 02.03.2021).

2. Акулий сом [Электронный ресурс]. URL: [https://fanfishka.ru/akvariumnye-stati/akvariumnye\\_rybki/1689-akuliy-som-pangasius.html](https://fanfishka.ru/akvariumnye-stati/akvariumnye_rybki/1689-akuliy-som-pangasius.html) (дата обращения: 02.03.2021).

3. Lazard, J. Interest of basic and applied research on *Pangasius* sp. for aquaculture in the Mekong Delta: Situation and prospects // The biological diversity and aquaculture of Clariid and Pangasiid Catfish in Southeast Asia: proc. mid-term workshop of the “Catfish Asiaproject” / Ed.: M. Legendre and A. Pariselle. Montpellier, 1999. Pp. 15–20.

4. Status of the Mekong *Pangasianodon hypophthalmus* resources, with special reference to the stock shared between Cambodia and Viet Nam: MRC Technical Paper / Van Zalinge N. [et al.]. Mekong River Commission, 2002. Is. 1. 29 p.

5. Phillips, M. Fresh water aquaculture in the Lower Mekong Basin: MRC Technical Paper. Mekong River Commission, 2002. Is. 7. 62 p.

УДК 639.3

## ОСОБЕННОСТИ ЗАГОТОВКИ ГИПОФИЗА АФРИКАНСКОГО КЛАРИЕВОГО СОМА

М.Л. Калайда<sup>1</sup>, Е.С. Пиганов<sup>2</sup>  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1</sup>kalayda4@mail.ru, <sup>2</sup>vip.piganov@mail.ru

Показаны особенности извлечения гипофиза клариевого сома в сравнении с карпом. Описано обезвоживание извлеченного гипофиза у клариевого сома по принятой методике и его хранение.

**Ключевые слова:** клариевый сом, карп, установка замкнутого водообеспечения, гипофиз,

Созревание икры и спермы у рыб осуществляется только при сочетании определённых условий внешней среды, среди которых наибольшее значение имеют температура и химический состав воды, нерестовый субстрат. Ограничение сроков воспроизводства рыб в естественных условиях создало предпосылки к развитию методов искусственного воспроизводства рыб, которые активно реализуются при развитии аквакультуры на базе установок с замкнутым циклом водообеспечения. Искусственное воспроизводство рыб разных систематических групп кроме экологического метода базируется на физиологическом методе или гормональной стимуляции созревания половых продуктов. Применение метода гипофизарных инъекций в рыбоводстве было предложено в 1935 г. Иерингом в Бразилии и в 1936 г. Н.Л. Гербельским (СССР) [1–3].

Гонадотропный гормон накапливается в гипофизе рыб в определенные сезоны года перед нерестом, что позволяет заготавливать гипофизы рыб-доноров как источники гонадотропного гормона. Гипофиз – это нижний мозговой придаток – железа внутренней секреции, чьи гормоны поступая в кровь и в полость мозгового желудочка влияют на окраску тела, рост, контролируют развитие половых, щитовидной и надпочечной желёз и обладают некоторыми другими функциями. У высших позвоночных животных в гипофизе вырабатывается два гонадотропных гормона фолликулостимулирующий (ФГ), который вызывает рост и созревание овариального фолликула у самок и процесс сперматогенеза у самцов, и лютеинизирующий (ЛГ), который стимулирует секрецию эстрогенов яичника и овуляцию у самок и влияет на интерстициальные клетки семенника, стимулируя синтез андрогенов.

При внутримышечных инъекциях суспензии гипофиза рыб производителям гонадотропный гормон поступает в кровь и стимулирует у них переход половых желёз от IV к V стадии зрелости, получение зрелой, способной к оплодотворению икры у самок и доброкачественной спермы у самцов. В связи с этим возникает задача выемки гипофиза из черепной коробки рыб, которая модифицируется в связи с морфологическими особенностями объектов. Целью данного исследования была разработка приемов добычи гипофизов клариевого сома и их высушивания. Материалом для данной работы послужили черепа семи особей самцов клариевых сомов средне штучной массой около 3 кг в возрасте двух лет, использованных в работах по их воспроизводству в октябре. Спецификой данной работы является то, что клариевые сомы круглогодично содержались в условиях установки с замкнутым циклом водообеспечения и состояние гипофиза не было связано с температурными изменениями и сезонностью.

Работу по вскрытию и извлечению гипофиза у клариевого сома необходимо выполнять вдвоем. Голову сома ставят перпендикулярно плоскости, на которой производится работа.левой рукой держат рыбу в районе рта, правой работают ножом. Ножом делают разрез в районе начала щеки, разрезая голову пополам (рис. 1). Сильно надавливая правой рукой, срезают кости челюсти в месте крепления к черепу, после разделения головы надвое удаляется наджаберный орган и все ткани в черепной коробке. Кусачками в двух местах перекусывается основание черепа и с помощью ножа удаляется кость, открывая доступ к головному мозгу и гипофизу (рис. 1). В черепной коробке открывается мозг с гипофизом снизу.



Рис. 1. Извлечение гипофиза из черепа клариевого сома

Аккуратно извлекается гипофиз, затем проводится его обезвоживание по принятой методике [3, 4]. Гипофизы помещают в банку с притертой пробкой. Высушенные гипофизы взвешивают. Их масса варьируется от 0,9 до 2,0 мг (рис. 2), средняя масса составила 1,9 мг, средняя масса гипофизов соответственно леща составила 2 мг.



Рис. 2. Извлеченные и высушенные гипофизы клариевого сома (*справа*) и леща (*слева*)

При проведении гипофизарных инъекций доза вводимого препарата, количество инъекций и продолжительность созревания производителей во многом зависят от температуры воды и степени зрелости производителей.

Следует учитывать, что при гипофизарных инъекциях положительного результата можно добиться только в том случае, если гонады инъекцируемой рыбы находятся в IV завершенной стадии зрелости. При гормональной стимуляции созревания производителей гипофизарные инъекции самкам производятся, как правило, дробно в виде одной или двух доз – предварительной и разрешающей инъекций (рис. 3).



Рис. 3. Гипофизная инъекция

Таким образом, технология изъятия гипофизов у клариевых сомов показала возможность их добычи в осенний период у рыб, содержащихся в условиях установки с замкнутым водообеспечением. Средняя штучная масса одного гипофиза составила 1,9 мг и практически равна массе гипофиза леща.

### Источники

1. Гербильский Н.Л. Метод гипофизарных инъекций и его роль в рыбоводстве // Гормональная стимуляция полового цикла рыб в связи с задачами воспроизводства рыбных запасов: тр. ВНИРО. Л., 1975. Т. 111. С. 7–22.
2. Иванов А.П. Рыбоводство в естественных водоемах. М.: Агропромиздат, 1988. 367 с.
3. Калайда М.Л. Биологические основы рыбоводства. Краткая теория и практикум :учеб. пособие. СПб.: Проспект Науки, 2014. 224 с.
4. Метод гипофизарных инъекций в рыбоводстве [Электронный ресурс]. URL: [https://revolution.allbest.ru/agriculture/00614162\\_0.html#text](https://revolution.allbest.ru/agriculture/00614162_0.html#text) (дата обращения: 08.03.2021).

УДК 639.3

## ОСОБЕННОСТИ КИСЛОРОДНОГО РЕЖИМА ПРУДА СЕЛА АБДИ (Р. НЫСЕ) В ТЮЛЯЧИНСКОМ РАЙОНЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Д.В. Пенкин, М.Ф. Хамитова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
it-sk@bk.ru

Проведено исследование особенностей кислородного режима пруда села Абди (р. Нысе) в Тюлячинском районе Республики Татарстан в зимнее время (с января по март 2021 г.).

**Ключевые слова:** прудовое рыбоводство, садковое рыбоводство, концентрация кислорода в воде, заморы, аэрация.

Для водных организмов кислород является важнейшим фактором существования. Обогащение воды кислородом в основном происходит за счёт его инвазии (вторжения) из атмосферы и выделения фотосинтезирующими организмами. Убыль  $O_2$  связана с его эвазией (выходом) из воды в атмосферу и потреблением при дыхании животными и растениями [1].

Зимой при ледоставе приток кислорода сокращается. К концу зимы его содержание уменьшается, как в эпилимнионе, так и в более глубоких слоях водоема. В гипolimнионе интенсивное потребление кислорода приводит к заморам, в результате чего гибнут многие животные, в том числе и рыба [2].

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 [3].

В рыбоводной практике на прудовых хозяйствах часто сталкиваются с проблемой зимних заморов рыб связанной с дефицитом кислорода. Для решения этой проблемы используются такие мероприятия, как обустройство прорубей и майн (2×2 м по одной на 3–5 га) или установка аэраторов [4].

Исследование кислородного режима на пруду села Абди (р. Нысе) Тюлячинского района Республики Татарстан проводилось в период с января по март 2021 г. Измерение проводилось с помощью термооксиметра «САМАР 2», предназначенного для измерения концентрации растворенного кислорода и температуры воды. Индикация результатов измерения концентрации кислорода осуществляется в мг/л и в % насыщения, температуры – в °С.

Измерение производилось на 7 станциях (рис. 1) на глубине 1,5 м.

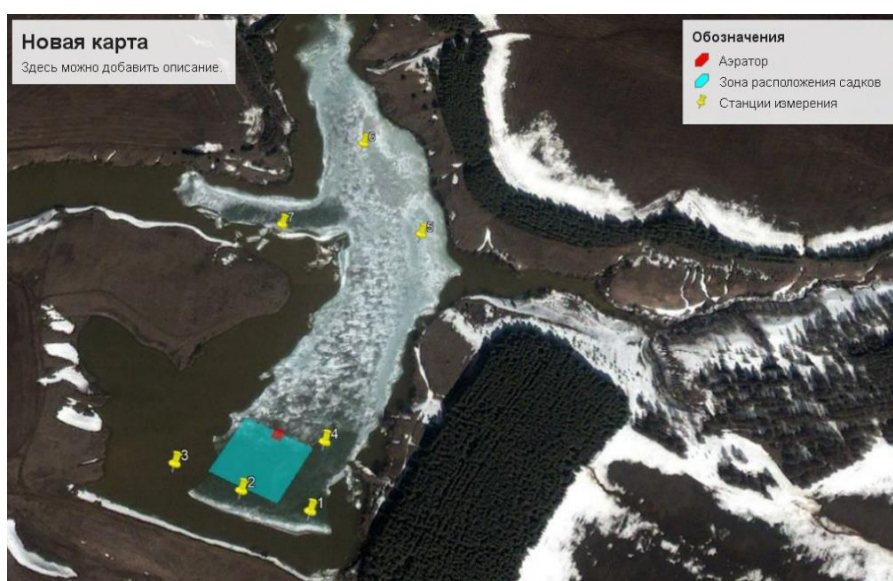


Рис. 1. Станции измерения концентрации кислорода на пруду с. Абди

Произведенные измерения уровня кислорода на станциях показали, что среднее значение уровня кислорода в период с января по март 2021 г. составило 1,08 мг/л.

Для повышения содержания кислорода в воде был установлен аэратор «Поток Универсал» мощностью 1,5 кВт. Главная способность аппарата – возможность подавать поток аэрированной воды на глубину до 2–2,5 м за счет изменения угла наклона двигателя (рис. 2).



Рис. 2. Работа аэратора, установленного на пруде с. Абди (слева на право) в 1-й, во 2-й и на 3-й день работы

После эксплуатации данного аэратора в течении 7 дней в режиме «размыв льда» образовалась полынья площадью около 160 кв. м. Изменение концентрации кислорода в воде после установки аэратора приведены в таблице.

#### Показатели кислорода и температуры в пруду с. Абди

Станция	Уровень кислорода, мг/л		Температура воды, С°	
	до установки аэратора	после установки аэратора	до установки аэратора	после установки аэратора
1	1	1,7	2	2
2	0,8	1,6	2	1,8
3	1	1,2	2	1,8
4	1	2,2	1,8	2
5	1,4	1,4	1,8	1,8
6	0,9	0,9	1,5	1,5
7	1,5	1,5	1,8	1,8

При данном кислородном режиме выращивание рыбы в садках требует проведение дополнительных мероприятий по организации аэрации водоема в районе расположения садковой линии. Использование аэратора «Поток Универсал» позволяет очистить ото льда до 160 кв. м площади водоема и разместить на этой территории садковую линию общей площадью поверхности не менее 100 кв. м.

## Источники

1. Константинов А.С. Общая гидробиология. 4-е изд. М.: Высшая школа, 1986. 472 с.
2. Садчиков А.П. Гидрботаника. Прибрежно-водная растительность: учеб. пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 240 с.
3. Козлов В.И., Никифоров-Никишин А.Л., Бородин А.Л. Аквакультура: учеб. для вузов. М.: КолосС, 2006. 445 с.
4. Калайда М.Л. Биологические основы рыбоводства. Краткая теория и практикум: учеб. пособие. СПб.: Проспект Науки, 2014. 224 с.

УДК 621-313.3

## ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПРУДА С. АБДИ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

И.В. Пенкина, М.Ф. Хамитова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань.  
ireneri@mail.ru

Описано исследование температурного режима пруда с. Абди в зимнее время в режиме естественной и искусственной аэрации водоема, с целью дальнейшего использования результатов исследования для выращивания отдельных видов рыб и организации садковой линии на нем.

**Ключевые слова:** прудовое рыбоводство, садковое рыбоводство, температура, заморы, аэрация

Пруд с. Абди организован на базе русла р. Нысе (приток Меши (правый приток Камы, впадает в Камский залив Куйбышевского водохранилища) в Тюлячинском районе Республики Татарстан.

Район размещения водоема – Предкамский климатический регион, для которого характерны относительно влажное и прохладное лето, умеренно холодная и снежная зима. Среднегодовая температура воздуха составляет 3,5 °С [1].

Термический режим водоемов нашего региона во многом зависит от продолжительности ледостава, времени очищения водоема ото льда и температуры воздуха в летний период. Так, становление льда на всей акватории Куйбышевского водохранилища происходит за 10 дней, а очищение ото льда в течение 7 дней. Средняя продолжительность ледостава составляет 143 дня. К моменту очищения водоема ото льда температура воды в поверхностном слое достигает 1–3 °С [2].



В зимний период температура воды сравнительно однородна, а распределение ее в водоеме имеет обратную стратификацию [3].

Понятие прямой стратификации характеризует послойное распределение температур, типичное для летнего времени года, когда наиболее теплые слои воды располагаются у поверхности, а холодные – у дна.

Зимой, с понижением температуры, происходит обратная стратификация. Поверхностный слой воды имеет температуру, близкую к 0 °С. На дне температура около 4 °С, что соответствует максимальной ее плотности. Таким образом, с глубиной температура повышается. Это явление, называемое температурной дихотомией. В результате температурной дихотомии нарушается вертикальная циркуляция, образуется плотностная стратификация воды, наступает период временного застоя – стагнация, которая может провоцировать замор водных организмов [4].

Для измерения температурного и кислородного состояния водоема нами был использован термооксиметр «Самара 2». Измерения проводились на 7 станциях в марте 2021 г. (рис. 1), на каждой из которых замерялась глубина и толщина льда. Результаты измерений представлены в таблице.



Рис. 1. Станции измерения кислородного и температурного режима на пруду с. Абди.

### Результаты измерений на станциях пруда с. Абди

Номер станции	Температура, °С		Толщина льда, см	Глубина, м
	до установки аэратора	после установки аэратора		
1	2	2	6,5	4,7
2	2	1,8	6,5	5,6
3	2	1,8	7,0	4,8
4	1,8	2	6,5	5,3
5	1,8	1,8	7,0	5,0
6	1,5	1,5	7,0	3,3
7	1,8	1,8	7,0	3,2

При планировании использования водоема под садковое выращивание рыбы встает вопрос предотвращения вмерзания садков в лед и обеспечения рыбы необходимым уровнем кислорода. Одним из наиболее рациональных методов решения этих задач является установка аэраторов – приборов, поддерживающие термический и кислородный баланс во всех слоях водоема.

Для размыва льда с целью установки садков и повышения уровня кислорода в воде был установлен аэратор «Поток Универсал» мощностью 1,5 кВт. Основная способность прибора – возможность подавать поток аэрированной воды на глубину до 2–2,5 м за счет изменения угла наклона двигателя. После эксплуатации данного аэратора в течение 7 дней в режиме «размыв льда» образовалась полынья площадью около 160 кв. м (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид полыньи

### **Источники**

1. Атлас Республики Татарстан. М.: Производственное картографическое объединение «Картография», 2005. 119 с.
2. Куйбышевское водохранилище: моногр. / отв. ред. А.В. Монаков. М.: Наука, 1983. 214 с.
3. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР / Главное управление гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР; под ред. канд. техн. наук В.А. Знаменского и В.М. Гейтенко. Л.: Гидрометеоздат, 1977. 30 с.
4. Калайда М.Л. Биологические основы рыбоводства. Краткая теория и практикум: учеб. пособие. СПб.: Проспект Науки, 2014. 224 с.

## ДИНАМИКА ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА В УСТАНОВКАХ ЗАМКНУТОГО ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ГИДРОБИОНТОВ

А.В. Платонова, М.Э. Гордеева  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
Maria.Galeeva@gmail.com

Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) – перспективный комплексный показатель для определения качества воды в замкнутых системах для целей аква-культуры. Проведенные исследования окислительно-восстановительного потенциала воды в условиях установок замкнутого водообеспечения выявили диапазон изменения данного показателя в пределах от  $-10$  до  $-75$  мВ; его большую чувствительность по сравнению с рН (примерно на 36 ч). Значения ОВП зависят от качества работы биофильтра, вида рыбы, плотности посадки, нормы кормления, концентрации растворенного кислорода и температуры воды в установке, а также могут свидетельствовать о качестве работы самой установки замкнутого цикла водообеспечения.

**Ключевые слова:** окислительно-восстановительный потенциал воды, рН, установка замкнутого цикла водообеспечения, гидробионты, качество воды.

Оценка качества воды в установках замкнутого цикла водообеспечения (УЗВ) актуальная задача в настоящее время в связи с необходимостью реализации концепции здорового образа жизни и увеличения количества получаемой здоровой рыбной продукции для населения. Оценку качества вод определяют по расширенному количеству физико-химических и биологических показателей, отраженных в нормативно-технических документах водно-санитарного законодательства. Однако в число контролируемых физико-химических показателей ОВП, являющийся перспективным параметром для контроля в замкнутых системах для выращивания гидробионтов по мнению ряда ученых, не входит [1–3].

ОВП воды – это комплексный физико-химический показатель, способный свидетельствовать о качестве воды. Он характеризует степень активности электронов в окислительно-восстановительных реакциях, т. е. реакциях, связанных с присоединением или передачей электронов [4].

Согласно литературным данным, выделяют 3 ситуации, встречаемые в естественных водных экосистемах: окислительная, переходная и восстановительная [4]. В целом, исследования ОВП уходят корнями в середину XX в. (рис. 1).

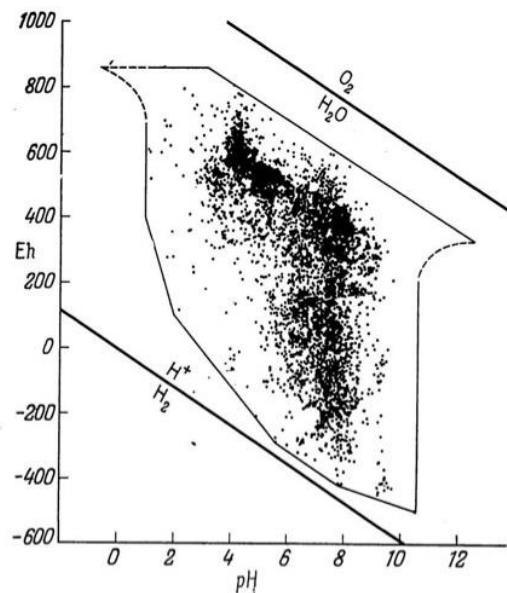


Рис. 1. Результаты измерений рН и Eh в природных водах по Гаррелсу, 1968 г. [4]

Интерес к исследованию ОВП вод не угас и в XXI в., однако существует сложность измерения и интерпретации данных. В ходе анализа литературы было выявлено, что значения ОВП могут изменяться у идентичных вод (вод с одинаковым химическим составом воды) в большом диапазоне. Это связано со способом измерения ОВП воды (выбором электрода для измерения: электрод сравнения, комбинированный электрод, платиновый электрод и т. д.). Данный факт подтверждают и многочисленные исследования, проведенные на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» Казанского государственного энергетического университета.

Для получения здоровой рыбной продукции необходимо соблюдение нормативов выращивания. Одними из главных контролируемых показателей являются температура воды, концентрация растворенного кислорода и рН. Исследование ОВП воды на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» привело к выводу, что ОВП является более чувствительным показателем по сравнению с рН [2, 3], что подтверждается проведенным экспериментом (рис. 2). Для этого была проведена серия экспериментов в аквариумной системе с карпами кои, которая выявила, что ОВП реагирует на изменение качества воды на 36 ч раньше по сравнению с рН [2].

Исходя из этого, особый интерес представляет исследование динамики значений ОВП в УЗВ с разными видами рыб для определения условий изменения данного показателя и нахождения оптимальных условий содержания гидробионтов для возможности оперативного реагирования на изменения качества воды.

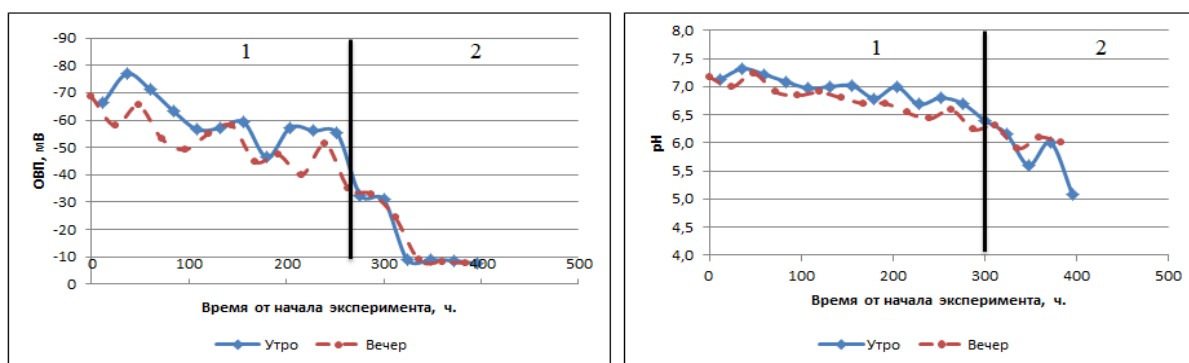


Рис. 2. Утренние и вечерние показатели ОВП и рН в аквариумной системе с карпами кои: 1 – благополучное состояние среды; 2 – ухудшение качества среды

Согласно литературным данным значения ОВП вод в замкнутых системах изменяется в пределах от 200 до 400 мВ [1].

Для измерения ОВП воды в УЗВ с осетровыми видами рыб (стерлядь, ленский осетр, гибрид ленского с русским осетром) использовался Ионмер И-160 Ми, на котором также измерялись значения рН водной среды. Согласно паспорту данного прибора ОВП измеряется по средствам измерительного комбинированного электрода и электрода сравнения. Комбинированный электрод имеет стеклянный корпус диаметром 12 мм. В нижней его части установлена рабочая мембрана, чувствительная к ионам водорода, представляющая собой шарик из специального стекла. Над шариком впаяна пористая керамика, обеспечивающая электролитический контакт между электролитом, залитым в электрод, и анализируемым раствором. Верхняя часть электрода заканчивается втулкой, из которой выходит кабель с разъемом для подключения к преобразователю.

Предварительные исследования показывают, что диапазон изменения ОВП от  $-10$  до  $-75$  мВ. Расхождения с литературными данными вероятнее всего можно объяснить используемой приборной базой измерения ОВП.

Значения ОВП зависят от качества работы биофильтра, вида рыбы, плотности посадки, нормы кормления, концентрации растворенного кислорода и температуры воды в установке [5]. При этом, значения ОВП при работе системы не изменялись в широком диапазоне как в биофильтре, так и в самом бассейне, что говорит о правильной работе УЗВ.

Интересным остается анализ изменения значений ОВП после кормления гидробионтов и нахождения оптимальных условий содержания по величине ОВП для разных видов рыб.

Таким образом, при дальнейшем исследовании окислительно-восстановительного потенциала, составлении классификации качества вод по данному показателю его можно рекомендовать в качестве мониторингового показателя для аквакультуры.

### Источники

1. Окислительно-восстановительный потенциал аквариумной воды [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rudiscus.ru/blog/post/okislitelno-vosstanovitelnyj-potencial-akvariumnoj-vody> (дата обращения: 17.12.2020).

2. Gordeeva M.E., Kalayda M.L. Using Redox potential in water quality assessment of energy facilities [Электронный ресурс] // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 288. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/288/1/012039/meta> (дата обращения: 08.03.2021).

3. Гордеева М.Э., Калайда М.Л. Комплексная оценка состояния экосистемы озер. Урбанизированные территории. Lap Lambert Academic Publishing, 2015. 237 с.

4. Гаррелс Р.М., Крайст Ч.Л. Растворы, минералы, равновесия. М.: Мир, 1968. 368 с.

5. Рыбоводные фермы [Электронный ресурс]. URL: <https://rybferma.tiu.ru/> (дата обращения: 08.03.2021).

## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция 1. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТЭС И ЖКХ

<b>Аверьянова А.А., Абасев Ю.В.</b> Оценка эффективности работы сетевых подогревателей на тепловых электрических станциях.....	3
<b>Бабиков О.Е., Власова А.Ю.</b> Исследование биологического загрязнения водоподготовительных установок на филиале АО «Татэнерго» Казанская ТЭЦ-1 .....	6
<b>Баймяшкина О.С., Яковлев Р.Н.</b> Деаэрация воды как способ защиты теплоэнергетического оборудования котельной и тепловых сетей от коррозии.....	9
<b>Баталова А.А., Филимонова А.А.</b> Методы подготовки воды для парогазовых установок.....	12
<b>Вафина Р.И.</b> Исследование потенциала экономии топлива при повышении надежности и качества теплоснабжения .....	15
<b>Вьюгова К.Д., Водениктов А.Д.</b> Сравнительный анализ конструкций воздухоподогревателей паровых котлов.....	17
<b>Гареева К.А., Шарифуллин И.М.</b> Оптимизация работы системы водоподготовки Казанской ТЭЦ-2 .....	20
<b>Гарифуллина А.М.</b> Методы очистки сточных вод .....	24
<b>Гильфанов Б.А.</b> Потенциометрический анализ теплоносителей ТЭС .....	27
<b>Гусева А.А., Абасев Ю.В.</b> Повышение эффективности работы тепловых пунктов.....	30
<b>Драцкая А.И.</b> Тепловые испытания нового пустотелого строительного кирпича .....	33
<b>Желтухина Е.С.</b> Моделирование сжигания твердого топлива в топке котла ТП-14А для нахождения оптимальных способов снижения токсичных выбросов .....	37
<b>Иванова У.В.</b> Реагентная обработка систем теплоснабжения .....	42
<b>Игнатьев К.А., Соколов А.М.</b> Сравнительный анализ воды Советского и Московского районов г. Казани .....	46
<b>Крылов М.Э., Низамова А.Ш.</b> Исследование системы подпитки и борного регулирования на АЭС с водо-водяным энергетическим реактором ВВЭР-1000.....	49
<b>Майоров Е.С.</b> Выявление наиболее выгодных для использования радиоактивных изотопов на АЭС, работающих на тепловых нейтронах .....	51

<b>Мишакова А.А.</b> Оптимизация схемы химических промывок обратно-осмотических модулей Волгоградской ТЭЦ.....	54
<b>Мухаметзянова А.Р.</b> Возможность модернизации ГРЭС мощностью 2000 МВт.....	59
<b>Савко Д.О., Аюпов Р.Р.</b> Сравнительный анализ системы теплоснабжения со смесительным насосом и с электрическим тепловым насосом.....	62
<b>Фатхуллина К.А., Юмаев Р.К.</b> Применение парогазовых установок в Российской Федерации .....	66
<b>Шайхутдинов Я.О., Водениктов А.Д.</b> Результаты исследования работы деаэрирующего конденсатосборника .....	69
<b>Шайхутдинов Я.О., Макуева Д.А.</b> Варианты накопления энергии отработавших тепловыделяющих сборок АЭС .....	72
<b>Шайхылимамов Л.М.</b> Исследование работы экологически чистой конденсационной электростанции с блоками ТК-330-240 .....	74
<b>Яковлев Р.Н., Баймяшкина О.С., Ляпин А.И.</b> Выбор оборудования абонентского ввода системы отопления и горячего водоснабжения многоквартирного дома.....	76

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

<b>Абдуллин Т.Р.</b> Приборно-аппаратная реализация виброакустической диагностики .....	80
<b>Антонова Т.В., Ротач Р.Р.</b> Возможность внедрения винтовых детандеров в котельной .....	82
<b>Арсланов И.А., Малёв Н.А., Гильфанов К.Х.</b> Расчет и исследование приборного электропривода указателя числа Маха .....	85
<b>Асадуллин Т.Р.</b> Сравнительный анализ применимости систем вентиляции с выбором наиболее эффективного варианта.....	89
<b>Валиев Р.Ш.</b> Неразрушающий контроль тепловых сетей .....	91
<b>Галанина А.Е., Звонарева Ю.Н.</b> Сравнение технических и экономических показателей по факту перевода с открытой системы теплоснабжения на закрытую в г. Набережные Челны .....	94
<b>Галеев Р.Р.</b> Варианты модернизации индивидуальных тепловых пунктов .....	96
<b>Гапоненко С.О., Загретдинов А.Р.</b> Новый подход к контролю технического состояния трубопроводов на основе энтропийной параметризации вибродиагностических сигналов .....	101



<b>Гарнышова Е.В., Измайлова Е.В., Чикунова Е.В.</b> Диагностирование коррозионных отложений в трубопроводах .....	104
<b>Гуломалиев Ш.Н.</b> Испытания сильфонных компенсаторов .....	108
<b>Данов Е.Б.</b> Анализ теплоиспользования в элементах системы теплоснабжения от блочно-модульных котельных с установленной тепловой мощностью 16 МВт .....	111
<b>Даутов Р.Р.</b> Модернизация системы теплоснабжения с применением теплового насоса.....	114
<b>Захватов Р.В.</b> Анализ эффективности модернизации сетей теплоснабжения и перехода к индивидуальным тепловым пунктам в городе Казань .....	117
<b>Ившин Р.В.</b> Применение частотного регулирования для повышения эффективности работы котельного оборудования .....	120
<b>Казаков С.А.</b> Особенности применения двигателя Стирлинга в энергетике.....	124
<b>Казакова Г.Д., Гапоненко С.О.</b> Пути повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения.....	126
<b>Карпов В.А.</b> Перспективы использования ядерных установок для питания лунной базы.....	129
<b>Клюкин И.И.</b> Солнечные коллекторы – перспективный источник отопления или нерентабельная установка? .....	134
<b>Макуева Д.А.</b> Плоские и вакуумные солнечные коллекторы в системе теплоснабжения .....	137
<b>Мукатдаров А.А.</b> Варианты калибровки пьезоэлектрических датчиков ...	139
<b>Мустафина Г.Р.</b> Анализ систем сжигания биогаза .....	142
<b>Мустафина Г.Р.</b> Эффективность использования биогаза.....	144
<b>Мухаматгалиев Л.И.</b> Оптимизация работы системы пароснабжения предприятия посредством использования паронакопителя и аккумулятора пара.....	146
<b>Парфенов Г.И., Трухин И.С.</b> Разработка имитационной модели процесса теплопередачи через стеклопакет .....	148
<b>Сабирова Л.Р.</b> Применение теплообменных аппаратов типа ТТАИ в индивидуальных тепловых пунктах .....	151
<b>Тазитдинов Р.Р., Гапоненко С.О.</b> Испытательный стенд для оценки технического состояния трубопроводов.....	153
<b>Федотова А.О.</b> Особенности применения моноблоков для систем горячего водоснабжения.....	157

<b>Хакимова Р.Р.</b> Применение современных инженерных решений для повышения энергоэффективности систем отопления в многоквартирных жилых зданиях .....	159
<b>Чанчина В.Е., Гапоненко С.О.</b> Моделирование и оценка влияния грунтов различного типа на параметры собственных колебаний трубопровода .....	162
<b>Шакурова Р.З., Кондратьев А.Е., Гапоненко С.О.</b> Модальный декремент затухания как информативный параметр в технической диагностике трубопроводов .....	165

### **Секция 3. ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ**

<b>Акчулпанов Р.И., Сайфуллина Э.И.</b> Сравнительный анализ тепловых насосов .....	169
<b>Демократиа Д.И., Локтионов Е.Д.</b> Сравнительный анализ энергетических установок для перспективного строительства в Индонезии.....	172
<b>Дорофеев Ю.Н.</b> Механизм зарождения микротрещин при эксплуатации ширмового пароперегревателя .....	175
<b>Дунаев П.В., Яшанин В.И., Салимов К.О.</b> Исследование снижения выбросов CO <sub>2</sub> в продуктах горения топлива газотурбинной установки от содержания в топливе метано-водородной фракции.....	179
<b>Ишалин А.В., Файзуллина Г.И., Марьин Г.Е.</b> Перспективные направления получения водорода .....	182
<b>Новоселова М.С., Мингазов Н.Р.</b> Методы повышения мощности газотурбинной установки и парогазовой установки .....	185
<b>Сагдуллин Д.Ф., Савина М.В., Тимофеева С.С.</b> Исследование влияния состава альтернативного топлива на эффективность работы стационарной газовой турбины .....	188
<b>Салимов К.О., Дунаев П.В., Яшанин В.И.</b> Распределенная генерация с использованием газовых микротурбин .....	192
<b>Файзуллина Г.И., Ишалин А.В., Марьин Г.Е.</b> Методы борьбы с летними ограничениями мощности газовых турбин .....	196
<b>Халиева А.М., Баранов А.А.</b> Мониторинг потребления тепловой и электрической энергии в энергетике .....	198
<b>Чичи Иносенсио Франшишко</b> Применение технологии трехмерного моделирования газотурбинной установки в образовательном процессе студентов в области энергомашиностроения.....	201

<b>Шакиров И.Э., Галяутдинов Р.М.</b> Сравнительный анализ мест установки тепловых насосов в энергетике .....	205
<b>Ямщиков К.О., Савина М.В.</b> Исследование влияния снижения температуры наружного воздуха на эффективность работы стационарной газовой турбины .....	208
<b>Яшанин В.И., Дунаев П.В., Салимов К.О.</b> Зависимость коэффициента полезного действия газотурбинной установки от содержания в топливе метано-водородной фракции .....	211

#### **Секция 4. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ**

<b>Галимова Ф.С.</b> Современный полувагон с облегченным кузовом .....	215
<b>Гафуров Б.Т.</b> Анализ сорбционных свойств бентонитовой глины .....	223
<b>Гимадиева Л.И., Мотыгуллина И.М., Тактамышева Р.Р.</b> Создание прикладной программы для расчета силовой нагрузки электроприемников .....	226
<b>Кайбышева Р.Р.</b> Балансировка систем отопления зданий .....	229
<b>Каримов Д.Р.</b> Сравнительный анализ теплоизоляционных материалов для утепления фасадов зданий .....	232
<b>Климова Ю.Н.</b> Перспективы использования тепловых насосов в Тамбовской области .....	234
<b>Колева О.Д., Тактамышева Р.Р.</b> Достоинства и недостатки приточно-вытяжной системы с утилизатором теплоты .....	238
<b>Лаптева Е.А., Столярова Е.Ю.</b> Исследование процессов тепломассообмена в мини-градирне .....	240
<b>Латыпова Д.М. , Загидуллина Н.В.</b> Применение газотурбинных энергетических установок в качестве собственных источников энергии на предприятиях Республики Татарстан .....	243
<b>Муртазов М.А.</b> Комбинированная система теплового аккумулирования на АЭС .....	246
<b>Мамонов Р.В., Шакурова Л.И.</b> Исследование теплоизоляционных материалов на теплопроводность .....	250
<b>Маслов К.М.</b> Особенности использования интенсификаторов теплообмена в трубчатых теплообменниках .....	253
<b>Местников Н.П., Альзаккар А.М-Н.</b> Исследование влияния холодного климата Якутии на функционирование монокристаллической солнечной системы генерации электроэнергии .....	256

<b>Нгуен Зуи Хынг</b> Определение группового состава трансформаторного масла методом тонкослойной хроматографии .....	260
<b>Нигматуллин Р.Р., Петров В.Ю.</b> Влияние постоянного магнитного поля на органические растворители.....	263
<b>Окружнов В.А., Лаптева Е.А.</b> Очистка газа в скруббере Вентури .....	265
<b>Сагдиева (Галиева) Т.И., Тактамышева Р.Р.</b> Достоинства и недостатки независимой схемы присоединения к тепловым сетям потребителей теплоты .....	267
<b>Сеу Джару Г.Ж.</b> Анализ излучения и плотности солнечного потока в Республике Татарстан .....	269
<b>Сметанникова М.Е.</b> Теплоотвод в лунный грунт.....	273
<b>Соловьева О.В., Латыпова Д.М.</b> Численное и экспериментальное исследование процесса разделения эмульсии.....	278
<b>Соловьева О.В., Сабирова Ю.Ф.</b> Исследование модели гранулированного и высокопористого ячеистого фильтра .....	280
<b>Соловьева О.В., Талипова А.Р., Белоусова Л.А.</b> Исследование модели многослойного высокопористого ячеистого фильтра .....	284
<b>Соловьева О.В., Талипова А.Р., Белоусова Л.А.</b> Определение эффективной длины пористого фильтра .....	287
<b>Соловьева О.В., Талипова А.Р., Белоусова Л.А.</b> Сравнительный анализ двух видов фильтра при равных физических и геометрических параметрах .....	291
<b>Фасыхов А.Р., Крахмалец А.В.</b> Анализ методов диагностики трансформаторного масла .....	294
<b>Филимонов С.С.</b> Магнитные полупроводники для эффективных термоэлектрических преобразователей энергии.....	298

## **Секция 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ**

<b>Абдрахманов А.М.</b> Разработка учебного макета ветроэнергетической установки.....	301
<b>Абдрахманов Д.Р., Садыков Р.Д., Марченко А.С.</b> Применение искусственного интеллекта при оценке качества выпускаемой продукции .....	304
<b>Байжигитова М.Б.</b> Разработка программного комплекса для обучения специалистов автоматизированных систем управления технологическим процессом.....	307

<b>Балашов А.А., Абрашкин П.А.</b> Измерительная система для поиска структурного перехода в полимере с использованием метода разладки.....	310
<b>Блинова Ю.А, Русин Д.М.</b> Система ориентирования мобильной роботизированной платформы для автоматизации производственных процессов.....	314
<b>Ершова В.С, Конов Д.А., Богданов А.Н.</b> Разработка автоматизированной системы ухода за комнатными растениями.....	317
<b>Зеленов Д.А., Каримов И.Д.</b> Анализ системы умного дома.....	320
<b>Колесникова А.И., Баширова Л.И.</b> Недостатки автоматического управления промышленными конвейерами .....	323
<b>Кусина Е.А.</b> Автоматизированные системы генерирования электроэнергии с использованием возобновляемых энергоресурсов.....	326
<b>Латыпов Т.И., Шайхезадин Д.И.</b> Разработка автоматизированной информационной системы «Атлас моделей для 3D-печати».....	330
<b>Муратов Р.М., Рябых И.А.</b> Разработка прототипа протеза руки на базе Arduino с применением технологии цифрового двойника .....	334
<b>Никифоров А.А., Зорченко Н.В.</b> Мониторинг участия оборудования ТЭС в общем первичном регулировании частоты.....	337
<b>Пирогова А.М., Богданов А.Н.</b> Разработка экспертной информационной системы для автоматизации процесса ухода за растениями.....	340
<b>Поплавский И.А., Сафин М.А.</b> Автоматизированная система управления состоянием здоровья крупного рогатого скота .....	344
<b>Радькова О.В., Радькова Н.В.</b> Создание системы контроля и управления установкой для испытаний фильтров очистки дымовых газов ТЭС.....	347
<b>Рахматуллин Т.Р.</b> Обзор Ethernet-коммутаторов для промышленных сетей.....	352
<b>Русин Д.М, Блинова Ю.А.</b> Волоконно-оптические датчики температуры на основе Брэгговских решёток.....	354
<b>Рязанова М.Э., Сафин М.А., Кузьмин И.И.</b> Разработка автоматической системы управления микроклиматом в теплице.....	357
<b>Скворцов Д.Д., Ишмухаметова Д.М.</b> Автоматизированная система учета и пополнения товара на складе.....	359
<b>Султанова Д.А., Хакимова А.З.</b> Проблемы и перспективы четвертой промышленной революции .....	363
<b>Уткин М.О., Зиангиров А.Ф., Фархутдинов М.М.</b> Автоматизированное проектирование установки для эковаты.....	366

<b>Халлыев И.А., Газизуллин И.М.</b> Автоматизированная система управления сублимационной машиной с применением метода косвенного определения вакуума.....	368
<b>Хлебников Д.А.</b> Информационная безопасность современных автоматизированных систем управления технологическим процессом....	373
<b>Холмогоров И.В.</b> Аспекты цифровых технологий в энергетике .....	376
<b>Шарифуллина Э.И., Сафин М.А.</b> Автоматизированный мониторинг урожайности с использованием навигационных GPS-систем .....	380
<b>Шаронов Н.С., Богданов А.Н.</b> Изготовление корпуса измерительного модуля автоматизированной системы регулирования влажности почвы.....	382
<b>Якшибаев А.Р.</b> Языки программирования ПЛК.....	386

### Секция 6. ТЕПЛОФИЗИКА

<b>Ануфриев Д.А., Одинцов И.О., Шиш А.И.</b> Обзор особенностей существующих экспериментальных стендов для изучения теплофизических свойств сыпучих сред.....	389
<b>Бадретдинова Г.Р., Исаева А.Е., Мадышев И.Н., Маясова А.О.</b> Численное моделирование разделения водонефтяной эмульсии в отстойнике.....	395
<b>Бадретдинова Г.Р., Моисеева К.С., Петрова И.В., Маясова А.О.</b> Сепарация мелкодисперсных частиц из газового потока в сепараторе с соосно расположенными трубами .....	397
<b>Бикташев И.А., Моисеева К.С.</b> Анализ проекта «Солнечное общество».....	400
<b>Галимова А.Р., Зинуров В.Э., Сергеева А.С.</b> Исследование процесса фракционирования сыпучего материала в классификаторе с соосно расположенными трубами.....	403
<b>Галимова А.Р., Мифтахов И.И., Сахибгареев Н.Ф.</b> Исследование теплообмена от парогазовой смеси в рекуперативном теплообменном аппарате с ребристой поверхностью .....	406
<b>Зарипов А.Р., Суганова В.А.</b> Разделение сыпучего материала в классификаторе.....	409
<b>Зарипов А.Р., Ханафеева Э.Р., Биккулов Р.Я.</b> Улавливание мелкодисперсных частиц в сепараторе с соосно расположенными трубами.....	412
<b>Зотов Р.П., Моисеева К.С.</b> Оценка развития технологий тепловых накопителей .....	415

## Секция 7. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ

<b>Дмитриева С.А.</b> Современные способы очистки воды в энергетике и промышленности.....	418
<b>Ильина В.В., Борисова С.Д.</b> Особенности гидрохимического режима установок с замкнутым циклом водообеспечения по выращиванию осетровых видов рыб .....	420
<b>Калайда М.Л., Бабикова В.В.</b> Исследование изменения биообрастаний в биофильтрах малых установок с замкнутым циклом водоснабжения.....	424
<b>Калайда М.Л., Ибрагимова Г.Д., Степанова В.П.</b> Оценка эффективности заселения молодью красноклешневых раков ( <i>Cherax quadricarinatus</i> ) искусственных трубчатых укрытий .....	426
<b>Калайда М.Л., Исмагилов Ф.А.</b> Некоторые биологические особенности пангасиуса в условиях установки замкнутого цикла водообеспечения .....	429
<b>Калайда М.Л., Пиганов Е.С.</b> Особенности заготовки гипофиза африканского клариевого сома .....	433
<b>Пенкин Д.В., Хамитова М.Ф.</b> Особенности кислородного режима пруда с. Абди (р. Нысе) в Тюлячинском районе Республики Татарстан.....	436
<b>Пенкина И.В., Хамитова М.Ф.</b> Особенности температурного режима пруда с. Абди (р. Нысе) в зимний период.....	439
<b>Платонова А.В., Гордеева М.Э.</b> Динамика окислительно-восстановительного потенциала в установках замкнутого водообеспечения для выращивания гидробионтов .....	442

*Научное издание*

ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021  
«ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

Международная молодежная научная конференция  
(Казань, 28–30 апреля 2021 г.)

Материалы конференции

В трех томах

Том 2

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Под общей редакцией ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова

Компьютерная верстка О.В. Цветковой  
Дизайн обложки Ю.Ф. Мухаметшиной

Подписано в печать 09.06.2021.  
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 26,45. Уч.-изд. л. 19,55.  
Тираж 30. экз. Заказ № 5231.

Центр публикационной активности КГЭУ  
420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51

Отпечатано с готового оригинал-макета в ООО «45»  
420044, г. Казань, пр. Ямашева, д. 36