

**10**Итоги  
выставки  
RENWEX-2024**23**Автономное  
водоснабжение  
частного дома**28**Правила  
монтажа газовой  
котельной**40**VRF-системы:  
о подаче  
хладагента

# Pro.Expert **Монтаж**

ПРИСОЕДИНЯЙТЕСЬ К СООБЩЕСТВУ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ МОНТАЖНИКОВ!

Преимущества участия:

- простая регистрация оборудования
- эксклюзивные акции для участников
- дополнительный заработок

Ссылка для регистрации: [pro.vgr.direct](https://pro.vgr.direct)



# ModelStudioCS

Комплексное решение для всех этапов жизненного цикла объектов капитального строительства

- ТИМ-моделирование
- Единая среда
- Цифровой двойник
- Автоматизированные рабочие места (АРМ)
- Входит в реестр российских программ и баз данных



АО «СиСофт Девелопмент»

+6

Реклама



[www.mscad.ru](http://www.mscad.ru)



# ВЕЗА

РОССИЙСКИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ  
ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ОВИК



ОПЫТ  
ПРОШЛОГО

ТЕХНОЛОГИИ  
СОВРЕМЕННОСТИ



### Энергетический форум «Тепло и Энергетика» пройдёт осенью в Москве

Выставка «Тепло и Энергетика» | Heat & Electro — выставка оборудования для теплоэнергоснабжения промышленных предприятий и объектов ЖКХ — пройдёт при генеральной информационной поддержке [журнала СОК](#) с 29 по 31 октября 2024 года в Москве, объединив 15 мероприятий и пленарное заседание.

13



### Эксплуатация фильтра смешанного действия при обессоливании воды

В данной статье рассмотрен вопрос влияния углекислоты, содержащейся в воде, на процесс ионообменного обессоливания воды смолой смешанного действия. Представлены экспериментальные данные. Даны рекомендации по ведению процесса обессоливания с использованием смолы смешанного действия.

20



### Автономное водоснабжение частного дома: основы, этапы и выбор оборудования

Автономное водоснабжение обеспечивает поступление воды в строение, при этом ликвидируя зависимость от магистральной сети. Для организации независимой системы водоснабжения используют разные варианты подвода воды, и каждый из них имеет особенности монтажа, а также нюансы выбора оборудования...

23



### Специфика монтажа газовой котельной частного дома

Монтаж газовой котельной — ответственный процесс, требующий строгого соблюдения всех установленных норм и правил, закреплённых в нормативных документах. Газовое отопительное оборудование относится к категории приборов повышенной опасности, что делает необходимым соблюдение особых мер безопасности при его эксплуатации...

28



### VRF-системы. EVI-технология дополнительной подачи хладагента в компрессор

Продолжаем серию статей, направленных на изучение технологий получения холода и тепла, которые используются в современном классе кондиционеров — VRF-системах. Сейчас мы рассмотрим применение технологии с дополнительной подачей хладагента в компрессор (EVI) — впрыском для увеличения его производительности.

40



### Использование цифровых технологий при обосновании параметров арктической ВЭУ

Предметом исследования являются конструктивные параметры ВЭУ. Предложен модульный принцип создания фундамента ВЭУ. Выполнено CAD-моделирование, с передачей в программный комплекс CAE ANSYS. Цифровая технология создания модульной ВЭУ может быть использована для проектирования в сложных климатических условиях Арктики.

56



**Учредитель и издатель**

ООО Издательский дом «МЕДИА ТЕХНОЛОДЖИ»  
(адрес: 143085, Московская обл., Одинцовский р-н,  
раб. пос. Заречье, ул. Тихая, д. 13, корп. 2)

**Главный редактор**

Александр Николаевич Гудко

**Технические редакторы**

Сергей Брух, Александр Говорин

**Руководитель отдела рекламы**

Татьяна Пучкова

**Ответственный секретарь**

Ольга Юферева

**Дизайн и верстка**

Роман Головкин

**Редакционная коллегия**

Председатель:

С. Д. Варфоломеев, член-корр. РАН, д.х.н., проф., ИБХФ РАН

Сопредседатели:

А. С. Сигов, акад. РАН, д.ф.-м.н., проф., МИРЭА

Ю. Ф. Лачуга, акад. РАН, член презид. РАН, д.т.н., проф.

Заместитель председателя:

И. Я. Редько, д.т.н., проф., ИБХФ РАН

Секция «Сантехника»

В. А. Орлов\*, д.т.н., проф., ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ»

Е. В. Алексеев, д.т.н., проф., ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ»

Ж. М. Говорова, д.т.н., проф., ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ»

Секция «Отопление и ГВС»

М. В. Бодров\*, д.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «ННГАСУ»

А. Б. Невзорова, д.т.н., проф., ГГТУ им. П. О. Сухого

П. И. Дячек, д.т.н., проф., БНТУ (Республика Беларусь)

А. В. Разуваев, д.т.н., доцент, проф., БИТИ НИЯУ «МИФИ»

Секция «Кондиционирование и вентиляция»

М. В. Бодров\*, д.т.н., доцент, ФГБОУ ВПО «ННГАСУ»

Т. А. Дацюк, д.т.н., проф., ФГБОУ ВО «СПбГАСУ»

Г. М. Позин, д.т.н., проф., ФГБОУ ВО «СПбГПУ»

Секция «Энергосбережение»

В. Ф. Матюхин\*, д.т.н., проф., Центр МИРЭА

О. А. Сотникова, д.т.н., проф., ФГБОУ ВО «ВГТУ»

С. К. Шерязов, д.т.н., проф., ФГБОУ ВО «ЮрГАУ»

А. Б. Невзорова, д.т.н., проф., ГГТУ им. П. О. Сухого

Секция «Энергетические системы и комплексы»

В. В. Елистратов\*, д.т.н., проф., ФГБОУ ВО «СПбГПУ»

П. П. Безруких, д.т.н., акад.-секр. секции «Энергетика» РИА

В. А. Булузов, д.т.н., проф., ФГБОУ ВО «КубГАУ»

М. Г. Тягунов, д.т.н., проф., ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

А. Б. Невзорова, д.т.н., проф., ГГТУ им. П. О. Сухого

В. Г. Николаев, д.т.н., директор НИЦ «Атмосграф»

С. В. Грибков, к.т.н., с.н.с., ФГУП «ЦАГИ», акад. РИА

И. А. Султангузин, д.т.н., проф., ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

А. В. Федюхин, к.т.н., доцент, ИЭВТ ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

В. А. Карасевич, к.т.н., доцент, РГУ нефти и газа (НИУ)

\* Руководитель секции.

**Адрес редакции:** 143085, Московская обл., Одинцовский р-н, раб. пос. Заречье, ул. Тихая, д. 13, корп. 2

Тел/факс: +7 (495) 665-00-00

E-mail: [media@mediatechnology.ru](mailto:media@mediatechnology.ru)

Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ № ФС77-56668.

Подписной индекс: П1895.

Перепечатка фотоматериалов и статей допускается лишь с письменного разрешения редакции и с обязательной ссылкой на журнал (в том числе в электронных СМИ). Мнение редакции может не совпадать с точкой зрения авторов. Редакция не несет ответственности за информацию, содержащуюся в рекламных объявлениях.



**Адрес в Интернете**

[www.c-o-k.ru](http://www.c-o-k.ru)

**Отпечатано в типографии**

«Тверской Печатный Двор» (адрес: 170518, Тверская обл., Калининский р-н, с. Никольское, д. 26)

Тираж 15 000 экз. Цена свободная.

Выпуск № 270 (06/2024). Дата выхода: 15.07.2024.

С.О.Н.® — зарегистрированный торговый знак.

ISSN 1682-3524

**Новости**

4

**События**

[Гасан Басирович Бадавов — к 80-летию со дня рождения](#)

7

[Распределённая генерация для Арктики и Дальнего Востока:](#)

[НАЭВИ и КРДВ собрали экспертов на ПМЭФ-2024](#)

8

[Итоги выставки и форума RENWEX-2024](#)

10

[Энергетический форум «Тепло и Энергетика» | Heat & Electro —](#)

[15 профильных мероприятий](#)

13

**ВМ-проектирование**

[«ОМНИ Проект»: как ускорить проектирование на 40%](#)

14

**Сантехника и водоснабжение**

[Текущая ситуация и тенденции на рынке насосного оборудования](#)

[в условиях санкций](#)

18

[Особенности эксплуатации фильтра смешанного действия](#)

[в процессе обессоливания воды](#)

20

[Автономное водоснабжение частного дома: основы, этапы](#)

[и выбор оборудования](#)

23

[Ответ на рецензию Л. Г. Дерюшева «К вопросу оценки расчётных](#)

[расходов воды для отраслевых объектов»](#)

26

**Отопление и ГВС**

[Специфика монтажа газовой котельной частного дома](#)

28

[Новая эра: история и эволюция теплоснабжения.](#)

[На что менять стальные трубы](#)

32

[Революция в инженерных коммуникациях: от стали](#)

[к термостойкому полиэтилену. Мнение экспертов](#)

35

**Кондиционирование и вентиляция**

[Непрерывное развитие новейших осевых вентиляторов](#)

[ОСА-ЭВО компании «ВЕЗА»](#)

38

[Анализ VRF-систем. Технология дополнительной подачи](#)

[хладагента в компрессор \(EVI\)](#)

40

[Анализ перспектив развития термометров для применения](#)

[в компактных ПВУ с роторным рекуператором](#)

46

[О прогнозировании спроса на тепловую энергию системой](#)

[приточной вентиляции](#)

49

**Энергосбережение и ВИЭ**

[Использование автономных энергоустановок на ВИЭ для энерго-](#)

[обеспечения изолированных объектов нефтегазового комплекса](#)

52

[Использование цифровых технологий при обосновании](#)

[энергетических и конструктивных параметров арктической ВЭУ](#)

56

[Расчёт энергетической эффективности при повышении](#)

[герметичности уплотнения роторного регенератора](#)

60

[Моделирование и исследование в ПО COMSOL Multiphysics](#)

[электрохимического метода получения водорода](#)

[для коммунального и бытового применения](#)

64

[Усовершенствованные геотермальные системы: системный обзор](#)

70

**References**

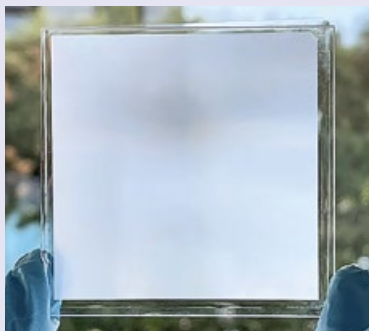
79

## Одной строкой

6 июня в рамках XXVII Петербургского международного экономического форума президент Группы ПОЛИПЛАСТИК Лев Горюловский и губернатор Ставропольского края Владимир Владимиров подписали соглашение о сотрудничестве. В рамках его реализации предполагается создание завода по выпуску полимерных труб мощностью до 30 тыс. тонн в год.



Китайская компания Xiaomi вывела на глобальный рынок свою солнечную панель Outdoor Camera Solar Panel. Это первое подобное устройство от Xiaomi, доступное за пределами Китая. Главная задача нового устройства — питать уличную камеру видеонаблюдения без необходимости подключать её к домашней электросети. Солнечная панель способна выдавать электропитание мощностью до 5 Вт, сообщает ресурс Hi-Tech.



По информации Hi-Tech, специалисты из Технологического института Карлсруэ (KIT) в Германии разработали новый материал, который оказался прозрачнее стекла. О своём открытии учёные рассказали в журнале Nature Communications. Микрофотонный многофункциональный метаматериал создан на основе полимера с уникальными свойствами. Он состоит из микроскопических силиконовых пирамид размерами около 10 мкм — это примерно одна десятая диаметра человеческого волоса. Прозрачность составила 93%, что на 2% больше, чем у обычного стекла.

В Уфе введён в эксплуатацию многоквартирный дом ЖК «Умный дом Гелиос» с фасадом из солнечных панелей. Солнечный фасад мощностью 180 кВт разработан компанией «Юнигрин Энерджи» и стал самым крупным интегрированным солнечным решением на территории России, сообщает «Энергоньюс».

## LUNDA

### Поверка любых счётчиков и прочих КИП в LUNDA



Теперь вам необязательно самому искать лабораторию или специалиста, чтобы провести поверку всевозможных контрольно-измерительных приборов. Достаточно принести их в любой филиал компании LUNDA («ЛУНДА»), сотрудники которой передадут приборы для измерений в аккредитованную лабораторию своих партнёров из компании «Экомера». Там прибор пройдёт необходимые испытания на соответствие законодательным нормам.

Современное оборудование и опытные сотрудники позволяют компании «Экомера» производить первичную и периодическую поверку приборов учёта расхода воды, контроля давления и температуры:

- счётчиков воды;
- манометров;
- термометров;
- реле давления;
- тепловых счётчиков;
- вычислителей и другого.

Оборудование лаборатории и уникальные технологии позволяют также собирать разделители сред для пищевой, фармацевтической и нефтяной промышленности.

После поверки все необходимые данные будут внесены в единый реестр приборов измерения «Аршин», а вы получите обратно своё оборудование и документы с подтверждением прохождения процедуры.

Заказать услугу можно на сайте [lunda.ru](http://lunda.ru). Получить консультацию также можно у персонального менеджера в компании LUNDA или по телефону +7 (495) 123-00-00.

## METEOR Thermo

### МETEOR Thermo и НПП «Итэлма» подписали соглашение о разработке систем управления



МETEOR Thermo и НПП «Итэлма» подписали соглашение о взаимодействии в области разработки критичных элементов управления бытовыми котлами отопления.

В рамках XXVII Петербургского международного экономического форума один из крупнейших отечественных производителей термотехники МETEOR Thermo и крупнейший российский разработчик и производитель электронных компонентов, а также лидер в области высокотехнологичного импортозамещения ООО «НПП «Итэлма» подписали соглашение о сотрудничестве в части совместной разработки инновационных компонентов системы управления бытовым котлом. В первую очередь речь идёт о создании критически важного для отопительной отрасли модуля управления бытовым газовым котлом.

Соглашение подписано в целях формирования и реализации государственной промышленной политики и политики в области торговой деятельности, развития конструкторского и производственного потенциала обоих предприятий.



Решения, разработанные в рамках подписанного соглашения, позволят не только значительно повысить уровень локализации МETEOR Thermo, который уже сейчас по некоторым продуктам составляет более 90%, но и в целом положительно отразятся на технологической устойчивости российской отопительной отрасли.



«Русклимат»

## «Русклимат» представил климатическую технику AURUS на ПМЭФ

Председатель Совета директоров ТПХ «Русклимат» Михаил Тимошенко в рамках XXVII Петербургского международного экономического форума (ПМЭФ-2024) на стенде Владимирской области презентовал Первому заместителю Председателя Правительства РФ Денису Мантурову премиальную климатическую технику AURUS и рассказал о развитии первого климатического технопарка России «Русклимат ИКСЭл» и ОЭЗ «Владимир».

Первый вице-премьер России с интересом ознакомился со стендами климатической техники AURUS и технопарка «Русклимат ИКСЭл» и отечественными разработками в области управления климатом. В настоящее время в климатическом кластере ТПХ «Русклимат» во Владимирской области успешно работают



14 производственных предприятий, в 2024 году начато строительство двух новых предприятий. Завод «Инсигния Радиаторс» будет производить стальные трубчатые радиаторы и полотенцесушители, а завод «Роял Бойлер Технолоджи» займётся изготовлением стальных водонагревателей с эмалированным баком.

ГК «АЯК»

## Лучший технический эксперт по климатическому оборудованию

Алексей Зайцев стал одним из победителей премии «Лучший технический эксперт по промышленному оборудованию производства Midea Building Technologies по итогам 2023 года». Его имя оказалось в числе 50 технических гуру, работающих в компаниях-дистрибьюторах Midea Building Technologies (ключевое подразделение корпорации Midea) по всему миру: в Азии, Африке, Европе, Латин-

ской Америке и др. Всех победителей производителем принимал в Китае с 2 по 6 июля на церемонии награждения.

Алексей пришёл в ГК «АЯК» 14 лет назад, он постоянно совершенствует собственные профессиональные компетенции. Компания гордится тем, что в её коллективе работают специалисты с международным признанием, настоящие профессионалы отрасли.

«Ридан»

## «Ридан» запустил «Личный кабинет проектировщика»

«Личный кабинет проектировщика» на сайте ridan.ru — удобное и функциональное рабочее пространство, позволяющее упростить и оптимизировать рабочий процесс. Специалисты

могут настроить под себя ПО для подбора оборудования, взаимодействовать с инженерами «Ридан» для решения возникающих вопросов, участвовать в тематических мероприятиях.

Одно из ключевых преимуществ «Личного кабинета» — возможность упорядочить и хранить историю всех выполненных расчётов, привязывая их к конкретным проектам. Это систематизирует выполненную работу и обеспечивает удобный доступ к необходимой информации. Кроме того, для активных пользователей предусмотрено ценное вознаграждение, которое можно получить в обмен за накопленные баллы.

Воспользоваться «Личным кабинетом проектировщика» могут все желающие. Сервис доступен на сайте ridan.ru в разделе «Проектировщикам».

Главная > Личный кабинет проектировщика

### Личный кабинет проектировщика

Удобное рабочее пространство, разработанное специально для проектировщиков

[Перейти в личный кабинет](#)

Источник: «Ридан»

Одной строкой

По информации ТАСС, новый национальный стандарт «зелёного» индивидуального жилищного строительства (ИЖС) начнёт действовать с 1 августа 2024 года, но применять его застройщики могут уже сейчас, сообщила пресс-служба ДОМ.РФ.

Группа «Россети» и ГК «Цифра» подписали меморандум, направленный на развитие сотрудничества, говорится в сообщении электросетевого холдинга. Объединив компетенции, компании рассчитывают ускорить исполнение поручения Президента России Владимира Путина по формированию к 2030 году цифровых платформ в ключевых отраслях экономики и социальной сферы, сообщает ТАСС.



Электромобили и низкоуглеродная энергетика, включая ВИЭ, хранение энергии, производство водорода и строительство линий электропередач, становятся всё более значимыми сегментами рынка цветных металлов. По данным Международного энергетического агентства (IEA), доля этих отраслей в глобальной структуре спроса на литий выросла с 39% в 2021 году до 56% в 2023-м, на никель — с 9 до 15%, а на кобальт — с 20 до 30%. При этом в ближайшие годы эти доли будут расти, сообщает «Глобальная энергия».



По информации Renen.ru, Международное энергетическое агентство (IEA) опубликовало доклад World Energy Investment 2024 об инвестициях в мировой энергетический сектор в прошлом году, содержащий прогноз на текущий год. Глобальные инвестиции в «чистую» энергетику в 2024 году почти в два раза превысят вложения в ископаемое топливо, считает МЭА.

## Одной строкой

В первом квартале 2024 года Германия достигла рекордного уровня производства электроэнергии из возобновляемых источников — они обеспечили 58,4% всей выработки страны. Это самый высокий показатель с начала учёта в 2018-м. Общее количество произведённой из ВИЭ электроэнергии составило 121,5 млрд кВт·ч, что на 11,6% больше по сравнению с прошлым годом. В то же время производство электрической энергии из ископаемого топлива сократилось на 25,4% и составило по итогам первого квартала 41,6% от общего объёма, сообщает Hightech.plus.



Китай не только достигнет, но и заметно превысит национальные цели по производству «зелёного» водорода уже к 2025 году, свидетельствует отчёт Rystad Energy. Ожидается, что в этом году производство водорода из возобновляемых источников энергии достигнет 220 тыс. тонн, что на 20 тыс. тонн больше установленной цели. Достижение этого результата станет возможным благодаря вводу в строй к концу года в Китайской Народной Республике почти 2,5 ГВт новых мощностей электролизёров, сообщает Hightech.plus.



По данным немецкого Федерального управления автомобильного транспорта (КВА), в мае в ФРГ было зарегистрировано 236 425 новых легковых автомобилей, что на 4,3% меньше, чем за тот же месяц прошлого года. Однако за пять месяцев текущего года отмечено увеличение общих продаж легковых авто на 5,2% по сравнению с 2023 годом. А вот «чистые» электрические автомобили (BEV) в Германии в нынешнем году продаются очень плохо, сообщает Renen.ru.

По сообщению ТАСС, конкурсный отбор проектов возобновляемой энергетики (ДПМ ВИЭ) планируется провести в декабре 2024 года. Причём переноса конкурса не будет, сообщил журналистам директор департамента развития энергетики Минэнерго России Андрей Максимов.



## «Ридан»

### «Ридан» запустил платформу «Ридан Online»

В июне 2024 года компания «Ридан» анонсировала запуск нового сервиса «Ридан Online» на своём сайте.

Время — ценный ресурс, особенно в строительстве. Для того, чтобы покупатели смогли быстрее получать техническое оборудование «Ридан» на свои объекты, компания предлагает использовать новую платформу «Ридан Online». Здесь зарегистрированные пользо-

ватели смогут выбрать для себя официального дистрибьютора компании с лучшими условиями по цене и срокам доставки, при этом видя фактическую стоимость без скрытых комиссий, оптимизировать комплектацию поставки, отслеживать статус заказа. Воспользоваться сервисом «Ридан Online» пока могут только юридические лица.

Источник: «Ридан»

## «Хогарт»

### Сотни экспертов и профессионалов посетили инженерную выставку HAUSMESSE 2024 в Москве



4–5 июня компания «Хогарт» провела седьмую по счёту выставку HAUSMESSE. Это необычный для российского бизнеса формат, который объединяет опыт таких выставок, как Aquatherm и Mosbuild, и при этом сохраняет камерный «домашний» масштаб.

29 брендов — лидеров рынка инженерного оборудования для отопления, сантехники и вентиляции — представили свои стенды с новинками, которые посетили 600+ монтажников, строителей и архитекторов.

Среди участников выставки — такие крупные игроки отрасли, как: REHAU, TECE, Bette, Flamco/COMAP, Kermi, BAXI, De Dietrich, Vaillant, RIFAR, Neptun, Energoflex, Oventrop, Mohlenhoff, METEOR и другие.

Организаторы подготовили обширную деловую программу: семинары от экспертов отрасли, экскурсии по складу и офису компании, QR-квест и ряд мастер-классов от поставщиков, с помощью которых посетители смогли познакомиться с новым оборудованием по-настоящему «вживую».

Отличительной чертой этого года стали круглые столы, которые прошли на главной сцене выставки. Эксперты из разных сфер обсудили продвижение бренда в 2024 году и проблему усиления роли государства на инженерном рынке. Приглашёнными экспертами стали главные редакторы ключевых изданий отрасли, блогеры, представители профессиональных объединений, аналитических агентств и крупнейших поставщиков рынка.



За создание неформальной, кулуарной атмосферы отвечала команда менеджеров и профессиональных организаторов, которые подготовили для участников интересную неформальную программу с интерактивами и представлениями. В течение двух дней у гостей был шанс выиграть ценные подарки от партнёров, а главным призом стало путешествие для двоих в Марокко.



## Гасан Басирович Бадавов — к 80-летию со дня рождения

15 июня 2024 года исполнилось 80 лет со дня рождения [Гасана Басировича Бадавова](#) — советника генерального директора ООО «Геозкопром», старшего научного сотрудника Института проблем геотермии и возобновляемой энергетики — филиала ОИВТ РАН в городе Махачкале, автора [журнала СОК](#).

[Гасан Басирович](#) родился в 1944 году в селении Кандаураул Хасавюртовского района Дагестанской Автономной Советской Социалистической Республики (ДАССР). В 1969 году окончил вечернее отделение физического факультета Дагестанского государственного университета имени В. И. Ленина. Трудовую деятельность начал в 1963 году на Машиностроительном заводе имени М. И. Гаджиева.

В 1964 году перешёл на работу в Дагестанский научно-исследовательский отдел энергетики Министерства энергетики и электрификации СССР (ДагНИОЭ), впоследствии преобразованный в Дагестанский филиал Энергетического института имени Г. М. Кржижановского (ДагЭНИН), в котором прошёл путь от лаборанта, научного сотрудника, до руководителя группы и заведующего сектором.

В ООО «Геозкопром» работает с 2001 года по совместительству. Прошёл путь от специалиста по маркетингу до помощника и советника генерального директора, внёс существенный вклад в повышение инвестиционной привлекательности геотермальных проектов Дагестана.

Это было время, когда формировалась дагестанская геотермальная школа. Талант [Гасана Басировича](#) как исследователя проявился уже в первые годы его научной деятельности в ДагНИОЭ, когда он принимал активное участие в разработке и внедрении панельных систем геотермального отопления под руководством известного дагестанского учёного С. А. Джамалова.

В 1974 году [Гасан Басирович Бадавов](#) окончил аспирантуру Академии коммунального хозяйства имени К. Д. Памфилова по специальности 05.23.03 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» в институте, где заместителем директора по науке работал крупный советский учёный в области климатизации и вентиляции, д.т.н., профессор И. Ф. Ливчак, в лаборатории, которой руководил к.т.н. В. А. Шмидт, а сектором теплоснабжения — к.т.н. Н. К. Громов.

Основные работы [Гасана Басировича Бадавова](#) посвящены разработке и внедрению в производство двухкомпонентных геотермально-электрических систем отопления и приборов автоматического регулирования на их основе. Широкой научной общественности известен как автор научной концепции освоения разведанных геотермальных ресурсов в энергобиологических комплексах для интенсификации производства ценных продуктов питания — осетровых, мяса птицы, овощей и микроводорослей.



✪ [Гасан Басирович Бадавов](#)

[Гасан Басирович](#) принимал активное участие в разработке схем теплоснабжения городов Махачкала и Кизляр, программ «Использование возобновляемых источников энергии в Республике Дагестан», «О переводе объектов соцкультбыта в горных районах на использование солнечной и электрической энергии» и «Стратегия социально-экономического развития Республики Дагестан до 2030 года», в работах по «Техническому обоснованию строительства Старогрозненской ГеоТЭС» и «Программы развития энергетики Чеченской Республики».

По результатам исследований им опубликовано свыше 100 публикаций, в том числе в соавторстве: брошюра «Теплоснабжение на базе подземных термальных вод», монография «Инвестиционные проекты (использование тепла Земли)», один патент, три информационных листка о научно-техническом достижении и более 15 внедрений в производство. Специалистам хорошо известны его переводы обзоров мирового развития геотермии и геотермальной энергетики.

[Гасан Басирович Бадавов](#) — член Комитета Российского Союза научных и инженерных общественных объединений (РосСНИО) по проблемам использования возобновляемых источников энергии, Почётный работник Министерства энергетики Российской Федерации. За заслуги в развитии геотермального производства в Республике Дагестан награждён медалью «За доблестный труд» и высшей государственной наградой — орденом «За заслуги перед Республикой Дагестан».

Редакция [журнала СОК](#), научно-техническая общественность искренно поздравляют [Гасана Басировича](#) с юбилеем и желают ему плодотворной творческой деятельности и долгих лет жизни! ●



## Распределённая генерация для Арктики и Дальнего Востока: НАЭВИ и КРДВ собрали экспертов на ПМЭФ-2024

Развитие распределённой генерации в удалённых и изолированных районах является одной из стратегических задач Российской Федерации в сфере энергетики. Это направление отмечено во всех отраслевых и макрорегиональных документах стратегического планирования, включая «Доктрину энергетической безопасности РФ», «Энергетическую стратегию России на период до 2035 года», стратегии социально-экономического развития Дальневосточного федерального округа и Арктической зоны РФ. Однако узких мест остаётся много.

Модераторами этой конференции выступили Максим Губанов, руководитель направления по энергетике и ЖКХ АО «Корпорация развития Дальнего Востока и Арктики» (КРДВ), и Екатерина Жолудева, заместитель председателя правления НП «Национальное агентство по энергосбережению и возобновляемым источникам энергии» (НП «НАЭВИ»).

О механизмах государственной поддержки инвестпроектов по развитию распределённой генерации в удалённых и изолированных районах Дальнего Востока и Арктики докладывал Максим Губанов, руководитель направления по энергетике и ЖКХ «Корпорации развития Дальнего Востока и Арктики». Были приведены примеры реализации проектов при участии КРДВ, для резидентов Арктики была оказана налоговая поддержка.

Карин Кнайсль, руководитель центра «Геополитическая обсерватория по ключевым проблемам России» (G.O.R.K.I.), эксперт-аналитик в области энергетики, отметила социальный аспект развития северных территорий, в частности, за счёт развития Северного морского пути: «Человеку, высококвалифицированному специалисту, необходимы комфортные условия работы, и люди хотели бы жить и проводить время со своей семьёй, поэтому не энергетика или энергия является наиболее важной проблемой, а решение комплекса вопросов, связанных с комфортными условиями для специалистов».

Николай Сафронов, председатель правления НП «НАЭВИ» и гендиректор компании «Глобал Гидро Рус», в своём выступлении отметил преимущества и экономическую целесообразность развития энергетической инфраструктуры на основе малых ГЭС и активных энергокомплексов. «У нас под ногами лежат деньги и лежит энергия. 700 тысяч рек и речек в Якутии, на Сахалине — 65 тысяч, на Чукотке 315 425 рек, на Камчатке — 140 тысяч, в Красноярском крае — 3590. Ежегодный потенциал в малой энергетике в России составляет 60 миллиардов киловатт-часов, из которых используется всего лишь один процент».

Илья Белавинцев, исполнительный директор Ассоциация развития технологий систем накопления электроэнергии (АРТ-СНЭ), отметил, что применение накопителей в удалённых и изолированных системах энергоснабжения Крайнего Севера является одним из важных точек роста отрасли: «Именно там наши системы накопления значительно облегчают жизнь живущих там людей, улучшают экономику и изменяют финансовые модели тех проектов, которые реализуются в этих регионах, повышают энергобезопасность. Другое важнейшее направление — применение систем накопления именно в проектах с возобновляемой энергетикой. Такой win-win увеличит бесперебойность, обеспечит гарантированность генерации ВИЭ и повысит надёжность энергоснабжения».







Михаил Смирнов, президент Ассоциации «Энергоинновация», говорил о мировых трендах в энергетике, прогнозировал в ближайшем будущем новый технологический прорыв, который будет заключаться в совмещении традиционной и возобновляемой генерации. Не противопоставляющих, а взаимодополняющих друг друга.

Алексей Жихарев, директор Ассоциации развития возобновляемой энергетики (АРВЭ), заострил внимание на том, что развитие распределённой энергетики в Арктике крайне медленно по следующим причинам: *«Размер самих проектов настолько мал, что мы не можем привлечь системного комплексного инвестора — это неинтересно ни банковскому сектору, ни крупным инвестиционным компаниям. Необходимо формирование либо в рамках института развития консорциума инвесторов, либо целевого фонда, которое бы за счёт объединения таких проектов в портфели могло прежде всего эффективно разрабатывать проектную документацию, готовить и проводить соответствующие изыскания, как и предлагает КРДВ».*

Вячеслав Мартынов, менеджер по развитию бизнеса «Аггреко Евразия», поделился примерами реализации проектов распределённой генерации. *«Ключевые проблемы, которые мы как соинвесторы в какой-то мере решаем — это энергообеспечение в случаях, когда отсутствует генерация полностью: удалённые посёлки, удалённые месторождения, удалённые горно-обогатительные комбинаты в том числе, то есть там, где нет других источников электроэнергии либо запланировано строительство сети, но через несколько лет».* Бизнес-модель компании предусматривает сдачу энергетического оборудования в аренду или предоставления услуги энергоснабжения под ключ. Мобильные решения «Аггреко Евразия» подходят и для задач резервирования

мощности критической инфраструктуры и повышения энергетической безопасности без капитальных затрат.



Алексей Кремер, генеральный директор Группы компаний «ЭНЭЛТ», поделился опытом расшивки узких мест. *«Здесь много говорилось о том, каким образом выстроить систему работы по модернизации локальной генерации. Мне кажется, мы нашли этот путь. Этот путь на стыке энергосервиса и грамотных технических решений. Мы нашли компании, нашли банки, которые нас поддержали, и сейчас очень быстро будем реализовывать этот проект. В этом году уже строим 11 автономных гибридных энергокомплексов. Также совместно с корпорацией «РусГидро» будем реализовывать проект о серийном производстве автономных гибридных энергокомплексов. Фактически мы объединим две вещи: финансирование есть, и делаем серийным наше эффективное оборудование».*



Евгений Соломеин поделился опытом реализации масштабного проекта энергообеспечения горно-обогатительного комбината (ГОК) для Малмыжского месторождения в Хабаровском крае на базе различных источников электро- и теплоснабжения на 1 ГВт. Проект привлекает в регион капитал, обеспечит строительство инфраструктуры и развитие всех слоёв экономики. Всего на новом предприятии будет создано около 2500 рабочих мест.

Владимир Шаулов, генеральный директор НПО «Б энд Б Индастриз», рассказал об уникальном потенциале ветроэнергетики в Арктической зоне России: *«Ветровой потенциал Арктики способен обеспечить свыше 100 гигаватт установленной мощности. Реализация даже десятой части этого потенциала покроет перспективные нужды предприятий топливно-энергетического комплекса и Северного морского пути в этом регионе. Уже построены первые ветростанции в арктической зоне: ВЭС «Тикси», Кольская ВЭС, которые доказали рынку технологическую возможность строительства ВЭС в Арктике и их эффективность. Для дальнейшего устойчивого развития отрасли считаем необходимым создание собственной технологической платформы и этим активно занимается наша компания, в рамках проекта «Национальная ВЭУ». Ветроэнергетика уже стала неотъемлемой частью энергетики России, теперь она должна стать традиционной энергетикой Арктики».*

Только совместными усилиями возможно добиться синергетического эффекта и обеспечить устойчивое развитие и процветание северных регионов — трудно переоценить опыт компаний-участников дискуссии. Четыре отраслевые ассоциации и «Корпорация развития Дальнего Востока и Арктики» готовы оказывать содействие компаниям в реализации проектов и формировании оптимальных рыночных условий. ●

## Итоги выставки и форума RENWEX-2024

С 18 по 20 июня 2024 года в ЦВК «Экспоцентр» при информационной поддержке [журнала СОК](#) состоялась 5-я Международная выставка и форум «Энергосбережение, «зелёная» энергетика и электротранспорт» — RENWEX-2024. Этот проект в полной мере отразил возможности «зелёной» энергетике и электротранспорта в нашей стране, ознакомил пользователей с новейшими технологическими трендами в этой сфере.



**Генеральный директор АО «Экспоцентр», председатель Комитета Торгово-промышленной палаты (ТПП) Российской Федерации по выставочно-ярмарочной и конгрессной деятельности Максим Фатеев:**

— На выставке RENWEX-2024 представлены последние достижения в сферах возобновляемой энергии и электротранспорта. Примечательными стали разработки в области солнечной, ветровой, гидро и геотермальной энергетики, а также в секторе биоэнергии. В этом году мы расширили деловую программу, каждый из трёх дней был посвящён отдельной тематике. Это даёт уникальную возможность для участников и гостей выставки глубже погрузиться в каждую тему и обсудить наиболее актуальные вопросы отрасли.

Мероприятие стало местом профессиональных дискуссий и обмена мнениями между представителями Минпромторга, Минэнерго, Минэкономразвития России, Комитета по энергетике Государственной Думы ФС РФ, Департамента транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы, деловых ассоциаций, авторитетных научно-исследовательских организаций.

**Заместитель министра промышленности и торговли Российской Федерации Михаил Иванов:**

— Форум возобновляемой энергетики и электротранспорта уже давно пользуется репутацией ведущей российской дискуссионной площадки в отрасли «зелёной» энергетики и является местом встречи представителей государственной власти, бизнеса и отраслевых экспертов. Это мероприятие наглядно демонстрирует активное внедрение в Российской Федерации новых технологий производства и потребления энергии из альтернативных источников.

За пять лет выставка приросла как по числу участников, так и по масштабу экспозиции.

**Заместитель генерального директора АО «Экспоцентр» Сергей Селиванов:**

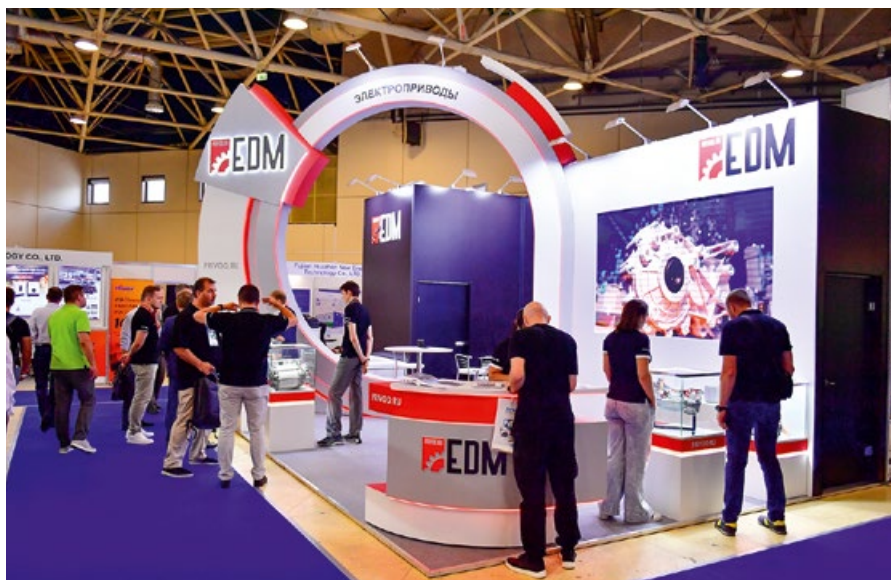
— За годы проведения мероприятие зарекомендовало себя качественной и эффективной деловой площадкой, стало ведущим в области энергосберегающих технологий, возобновляемой энергетики, электротранспорта и зарядной инфраструктуры в России. Стоит отметить, что из года в год наблюдается рост новых компаний, пришедших на выставку в качестве экспонентов. В 2024 году впервые участвуют примерно 85 компаний (около 65 китайских и 20 российских), это порядка 66 процентов от общего количества участников.

В экспозиции площадью нетто 1826 м<sup>2</sup> демонстрировались образцы электротранспортных средств, технологии и оборудование для возобновляемой энергетики, решения по эффективному энергопотреблению, электротранспорт и зарядная инфраструктура, предложения сервисных компаний по монтажу, наладке и обслуживанию подобной техники.

В этом году в RENWEX приняли участие 118 компаний из трёх стран. Широкая линейка продукции была представлена китайскими производителями.

Российские разработки продемонстрировали участники из пяти федеральных округов и 16 регионов. Среди них — «ДКС», «Камтрансавто», Neosun, Pandora, «Планета погрузчиков», НТЦ «Приводная техника», «Автономные решения», Sitronics Electro, «Спецавтоинжиниринг», В2.Solar, «Перманент К&М».

Дебютантами проекта стали такие компании, как «ВМ Технологии», AXU motors, «НЭК», «Техмашпром», НПО «Экоперек-







сид Водорода», «Поликом», «Трансутилизация», «Парус электро», «ЗарядкаКарс», «Е-КА» и другие.

На площадке выставки участники увидели, как развивается отрасль, познакомились с новыми разработками, технологиями и оборудованием, получили обратную связь от экспертов, установили ценные деловые контакты и привлекли потенциальных инвесторов. Собственные разработки демонстрировали Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов» (НИТУ «МИСиС»), Институт физики твёрдого тела Российской академии наук (ИФТТ РАН), Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ») и другие.

За три дня работы выставку и форум посетили 3670 специалистов из 28 стран и 70 субъектов РФ.

Посетителям удалось плодотворно пообщаться и установить новые партнёрские отношения, обсудить приоритеты развития возобновляемых источников энергии и электротранспорта.

**Заместитель директора Проектного центра по энергопереходу Сколковского института науки и технологий (Сколтех) Ирина Гайда:**

— Для меня выставка RENWEX — это всегда замечательный повод обсудить с ключевыми лицами, принимающими решения, всё, что произошло в отрасли за последний год, и их видение того, как будет развиваться возобновляемая энергетика в будущем. Как всегда, всё получилось динамично. Площадка великолепная, участников много.

Особая благодарность партнёрам выставки и форума за поддержку в их проведении: партнёру деловой программы — Sitronics Electro (входит в Sitronics Group), партнёру секции деловой программы — «Лаборатория преобразовательной техники» и генеральному медиапартнёру выставки — телеканалу «Авто Плюс».

### Деловая программа

Выставку сопровождал форум, в рамках которого проходили деловые мероприятия. Более 90 экспертов обсудили актуальные вопросы отрасли, меры государственной поддержки, перспективы развития сферы ВИЭ, в том числе микрогенерации, а также электротранспорта и создания инфраструктуры для него.

В церемонии официального открытия выставки и форума RENWEX-2024 приняли участие директор Департамента машиностроения для ТЭК Министерства промышленности и торговли РФ Михаил Кузнецов, директор Департамента развития электроэнергетики Министерства энергетики РФ Андрей Максимов, заместитель генерального директора АО «Экспоцентр» Сергей Селиванов и другие почётные гости.

После приветственных слов начала работу стратегическая сессия «Развитие «зелёной» энергетики в условиях нарастающих санкционных ограничений: экономические и технологические аспекты».



Эксперты затронули актуальные вопросы интеграции ВИЭ в энергосистему, обсудили развитие машиностроения по каждому из ключевых типов возобновляемых источников энергии (ВИЭ), необходимость баланса между увеличением объёма генерации на базе ВИЭ и развитием технологического лидерства России в этой области.

В работе сессии приняли участие директор Департамента машиностроения для топливно-энергетического комплекса Министерства промышленности и торговли РФ Михаил Кузнецов, директор Департамента развития электроэнергетики Министерства энергетики РФ Андрей Максимов, директор Ассоциации развития возобновляемой энергетики Алексей Жихарев, заместитель генерального директора «Юнигрин Энерджи» Олег Шуткин, директор по энергетическим рынкам и внешним связям «Системного оператора Единой энергетической системы» Андрей Катаев, директор по развитию НПО «Б энд Б Индастриз» Кимал Юсупов, первый заместитель председателя Комитета по энергетике Государственной думы ФС РФ Валерий Селезнёв и другие. Модератором сессии выступила заместитель директора проектного центра по энергопереходу Сколковского института науки и технологий (Сколтех) Ирина Гайда.

В рамках первого дня работы деловой программы RENWEX-2024, посвящённой теме «Зелёные» технологии и энергоэффективность», Ассоциация развития возобновляемой энергетики (АРВЭ) при поддержке Российского энергетического агентства (РЭА) Минэнерго России провела круглый стол «Кадры для возобновляемой энергетики: перспективы и вызовы!». Модератором сессии выступил Алексей Жихарев, директор АРВЭ, директор Ensolve.

По словам спикеров, сектор возобновляемой энергетики в будущем станет одним из крупнейших работодателей, нуждающимся в большом количестве высококвалифицированных кадров.





В настоящее время в России наблюдается дефицит кадров в топливно-энергетическом комплексе, который ощущается особенно остро в отрасли технологического энергоперехода. В рамках дискуссии говорили о том, какие решения являются самыми эффективными для преодоления кадрового дефицита, какие новые тренды формируются на рынке труда в результате развития возобновляемой энергетики, какие специалисты будут самыми востребованными и чему учиться заинтересованным студентам.

В работе круглого стола приняли участие представители российских вузов со специализацией в сфере возобновляемой энергетики, представители компаний и рекрутинговых агентств.

Интерес у профессиональных слушателей вызвали круглый стол «*Энергетическое машиностроение и новые технологии: меры государственной поддержки*» и сессия «*«Зелёная» энергетика и энергоэффективность — каких технологий нам не хватает?*».

Тема «*Электротранспорт и развитие инфраструктуры*» стала темой второго дня деловой программы форума.

Открыла программу дня стратегическая сессия «*Электротранспорт России: развитие инфраструктуры и международное сотрудничество*».

В своих выступлениях спикеры дали оценку развитию парка электротранспорта в стране, который за последние годы существенно вырос. Они рассказали о формировании зарядной инфраструктуры для электротранспорта, мерах государственного стимулирования при покупке электромобилей отечественного производства, мерах государственной поддержки производителей электромобилей и зарядных станций.

Внимание аудитории привлекло выступление, посвящённое развитию электрического транспорта в Москве, кото-

рому правительство столицы в настоящее время уделяет огромное внимание, реализуя амбициозную программу по переходу на полностью электробусный парк к 2030 году.

В дискуссии приняли участие представители бизнеса и зарубежные партнёры, которые отметили существующие проблемы в области развития электротранспорта и зарядной инфраструктуры, предложили своё видение решения этих проблем, обозначили направления дальнейшего развития отрасли.

Деловую программу второго дня продолжила сессия, организованная журналом «*Энергетическая политика*». Участники сессии представили ряд проектов по производству электромобилей и развитию зарядной инфраструктуры на территории РФ, обсудили достижения, перспективы и барьеры.

Следующая сессия была посвящена системам накопления энергии. Участники обменялись информацией о перспективных российских разработках на этом важном направлении и обсудили, сможет ли Россия стать одним из мировых лидеров по производству аккумуляторов.

Завершил второй день деловой программы выставка RENEWEX-2024 сессией «*Электробаттл: роуминг против агрегации*», которую организовала компания Sitronics Electro. Представители компаний — производители зарядного оборудования для электромобилей, операторы зарядной инфраструктуры, эксплуатирующие это оборудование, а также компании — агрегаторы зарядных станций для электромобилей обсудили проблемы формирования дружественной информационной среды для водителей электромобилей о заправочной инфраструктуре для их транспортных средств.

Теме «*Развитие микрогенерации в Российской Федерации*» был посвящён третий день работы форума.

В этот день состоялась стратегическая сессия «*ВИЭ как стратегический вектор развития удалённых территорий Крайнего Севера. Энергобезопасность, инвестиции, технические решения*», организованная при поддержке АО «Корпорация развития Дальнего Востока и Арктики» (КРДВ) и Национального агентства по энергосбережению и возобновляемым источникам энергии (НП «НАЭВИ»).

Участники сессии обратили внимание, что развитие распределённой генерации в удалённых и изолированных районах является одной из государственных стратегических задач Российской Федерации в сфере энергетики.

Они отметили, что возобновляемые источники энергии могут стать решением для обеспечения удалённых районов. Это направление сочетает в себе как потребность в решении государственных задач, так и возможность применения новых технологий, поиск инвестиционных и инженерных решений.

Перспективные направления микрогенерации затронули круглый стол «*Международное технологическое сотрудничество и промышленная кооперация в малой энергетике*», проведённый совместно с Некоммерческим партнёрством по развитию возобновляемой энергетики (НП по РВЭ) «Евросолар Россия», и круглый стол «*Микрогенерация: какие технологии нам нужны сегодня и что будет завтра?*», организованный совместно с Ассоциацией специалистов по возобновляемым источникам энергии «Зелёный киловатт».

В рамках тематического дня совместно с Общественной организацией «Российский центр деловых переговоров» (РЦДП) прошла сессия, посвящённая тепловым насосам. Участники обменялись информацией об энергетической, экологической и экономической эффективности применения теплонасосных технологий. ●

# Энергетический форум «Тепло и Энергетика» | Heat & Electro — 15 профильных мероприятий

Выставка «Тепло и Энергетика» | Heat & Electro — главная отраслевая выставка оборудования для теплоэнергоснабжения промышленных предприятий и объектов ЖКХ — пройдёт при генеральной информационной поддержке [журнала СОК](#) с 29 по 31 октября 2024 года в Москве (ЦВК «Экспоцентр», Павильон №1), объединив 15 профильных мероприятий и пленарное заседание с участием представителей государственных структур.



👉 Регистрация на выставку с применением бесплатного промокода NEM24-FPTMD

Выставка «Тепло и Энергетика» | Heat & Electro является традиционным местом встречи производителей, поставщиков оборудования и сервисных услуг со специалистами, заинтересованными в приобретении продукции для строительства, ремонта, модернизации промышленных котельных, автономных энергоцентров, ТЭЦ промышленных предприятий различных отраслей и ЖКХ. Впервые в 2024 году пройдёт **Энергетический форум** — он объединит 15 отраслевых конференций, которые пройдут совместно с партнёрами выставки, и **пленарное заседание** с участием представителей государственных структур, организатором которой выступит ООО «Гефера Медиа».

Деловая программа выставки — один из важнейших инструментов взаимодействия посетителей и представителей отрасли теплоэнергетики. На конференц-площадках все посетители смогут лично пообщаться со спикерами, задать вопросы и рассказать о своём предприятии. В 2024 году она будет проводиться на трёх площадках выставки, чтобы максимально охватить представленные темы.

Знаменует открытие Энергетического форума пленарное заседание «Импортозамещение, инновации и локализация производства в энергетике как метод стабилизации экономики». Организатор — ООО «Гефера Медиа».

Традиционно свои мероприятия в этом году проведут:

- Журнал СОК** представит две конференции: «Обновлённый рынок котлового оборудования 2024 года: тренды, игроки, технологии» и «Использование ВИЭ для энергоснабжения промышленных предприятий и коммерческих объектов. Проекты, технологии, тенденции».
- Ассоциация малой энергетики.** Тема конференции: «Собственная генерация на предприятии: ставка на бесперебойность, энергоэффективность и снижение затрат».
- Национальная Ассоциация водоснабжения и водоотведения (НАВВ).** Тема конференции: «Технологии водоподготовки и очистки воды. Цифровая трансформация».

**4. Ассоциация «Мособлтеплоэнерго».** Тема конференции: «Актуальные вопросы теплоснабжения. Повышение эффективности и надёжности объектов теплоснабжения».

**5. Ассоциация «Теплицы России».** Тема конференции: «Модернизация и обслуживание котельных и автономных энергоцентров тепличных предприятий».

**6. Ассоциация «ЭнергоИнновация».** Тема конференции: «Гибридная генерация — российский ответ новым вызовам!».

**7. Ассоциация компрессорных заводов (АКЗ).** Тема конференции: «Производство компрессорного оборудования в России. Актуальные проблемы и перспективы развития».

А также свою ежегодную научно-практическую международную конференцию «Энтальпия-2024: Автоматизация проектирования объектов ТЭК» проведёт участник выставки ООО «Белэнергомаш-БЗЭМ», а Российско-Китайская палата при Международном комитете Российского союза промышленников и предпринимателей (РСПП) — «Российско-Китайскую конференцию по содействию торговле машинно-техническим оборудованием и инновационной продукцией».

Новые конференции на выставке «Тепло и Энергетика 2024» уже анонсировали:

- ❑ НП «АВОК» и НП «Российское теплоснабжение» представят конференцию «Модернизация тепловых пунктов. Снижение аварийности систем теплоснабжения»;
- ❑ Медиагруппа «Армторг» представит конференцию «Технологические аспекты применения арматуры и вспомогательного оборудования на объектах энергетики».

Все мероприятия свободны к посещению.

Выставка «Тепло и Энергетика» пройдёт одновременно с выставкой «Металл Экспо», которая является основной переговорной площадкой для металлургических и металлопотребляющих компаний. ●

**Промокод для бесплатного билета на выставку: NEM24-FPTMD.**

## Официальная поддержка выставки «Тепло и Энергетика» | Heat & Electro 2024

- ❑ Совет Федерации РФ;
- ❑ Комитет по энергетике Государственной Думы ФС РФ;
- ❑ Министерство промышленности и торговли Российской Федерации;
- ❑ Министерство энергетики Московской области;
- ❑ Ассоциация малой энергетики;
- ❑ Ассоциация энергосервисных предприятий энергетики «Энергоинновация»;
- ❑ Ассоциация «Мособлтеплоэнерго» (40 теплоэнергетических компаний);
- ❑ НП «Российское теплоснабжение»;
- ❑ Ассоциация компрессорных заводов;
- ❑ Ассоциация «Теплицы России»;
- ❑ АВОК (Ассоциация инженеров по отоплению, вентиляции, кондиционированию и тепловой физике);
- ❑ Национальная Ассоциация водоснабжения и водоотведения (НАВВ);
- ❑ Российско-Китайская Палата при Международном комитете РСПП;
- ❑ Клуб теплоэнергетиков «Флогистон» / ОАО МПНУ «Энерготехмонтаж».



## «ОМНИ Проект»: как ускорить проектирование на 40 %

Краснодарская компания «ОМНИ Проект» занимается инженерно-техническим проектированием, управлением проектами строительства, осуществлением строительного контроля и авторского надзора. Специалисты компании поделились опытом создания проекта водоснабжения школы на 1100 учащихся в городе Краснодаре с применением nanoCAD BIM BK — программы для проектирования и расчёта моделей внутренних систем водоснабжения, канализации и пожаротушения.

### Задача

Осенью 2023 года компания получила заказ на проектирование внутренних систем водоснабжения и водоотведения для трёхэтажной школы на 1100 учащихся. Среди поставленных условий — последующее прохождение государственной экспертизы проектной документации (формирование стадии П), а также формирование и передача заказчику сводной BIM-модели систем водоснабжения и водоотведения в рамках реализации Постановления Правительства РФ №1431 «Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства...» [1].

Специалистам «ОМНИ Проект» предстояло спроектировать следующие инженерные системы:

- хозяйственно-питьевого водоснабжения (горячего и холодного);
- хозяйственно-бытовой канализации;
- производственной канализации (отдельно для помещений столовой).

Команда проекта со стороны заказчика состояла из трёх человек:

- руководитель — главный инженер **Вадим Кубанкин**;
- основной исполнитель — инженер второй категории **Наталья Чижевская**;
- соисполнитель — инженер третьей категории **Виталий Медведский**.

### Выбор ПО в пользу соответствия ГОСТ

«Мы выбрали программное обеспечение, отвечающее требованиям действующих нормативов в проектировании, а также соответствующее ГОСТу в части оформления конечной документации для передачи на государственную экспертизу», — говорит Вадим Кубанкин.

Для реализации проекта компания использовала комбинацию решений компании «Нанософт»:

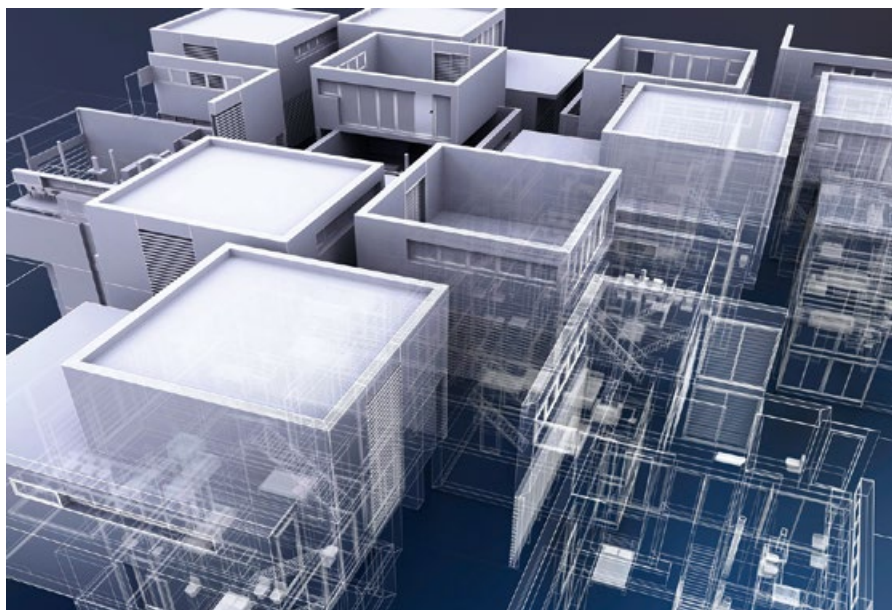
- десять рабочих мест на Платформе nanoCAD;
- два рабочих места nanoCAD BIM BK;
- одно рабочее место nanoCAD GeoniCS.

**На новом объекте (трёхэтажная школа на 1100 учащихся) специалистам компании «ОМНИ Проект» предстояло спроектировать инженерные системы хозяйственно-питьевого водоснабжения (ГВС и ХВС), а также хозяйственно-бытовой и производственной канализации**

### Специфика проекта

Современная школа — это комплекс, в котором размещаются зоны обучения со стандартными кабинетами и со специализированными классами для занятий робототехникой, информатикой, технологией и иными дисциплинами, а также помещения для спорта, столовая с линией приготовления пищи и др.

«Сложность проектирования водоснабжения такого объекта состоит как в различиях норм водопотребления для учебно-административной зоны и зоны столовой, так и в различии структуры водопотребления, сантехнического оборудования, водоразборной арматуры в помещениях с разным функционалом. Это усложняет подсчёты для выпуска спецификации изделий и материалов, а также для подачи на экспертизу соответствия сметной документации», — рассказывает Наталья Чижевская.



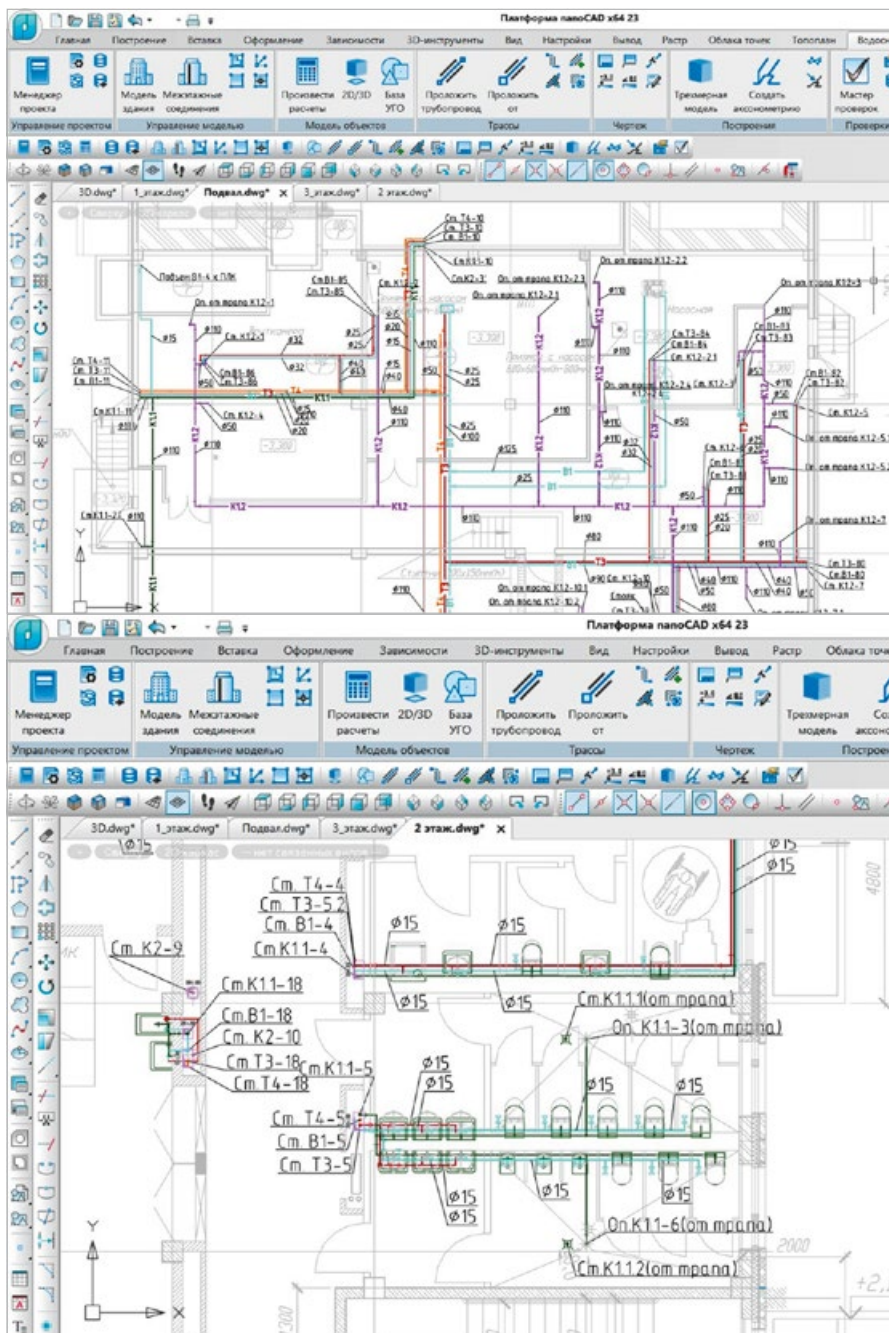


Рис. 1. Планы системы водоснабжения и водоотведения, выполненные в паюCAD BIM BK по проекту трёхэтажной школы на 1100 учащихся в городе Краснодаре

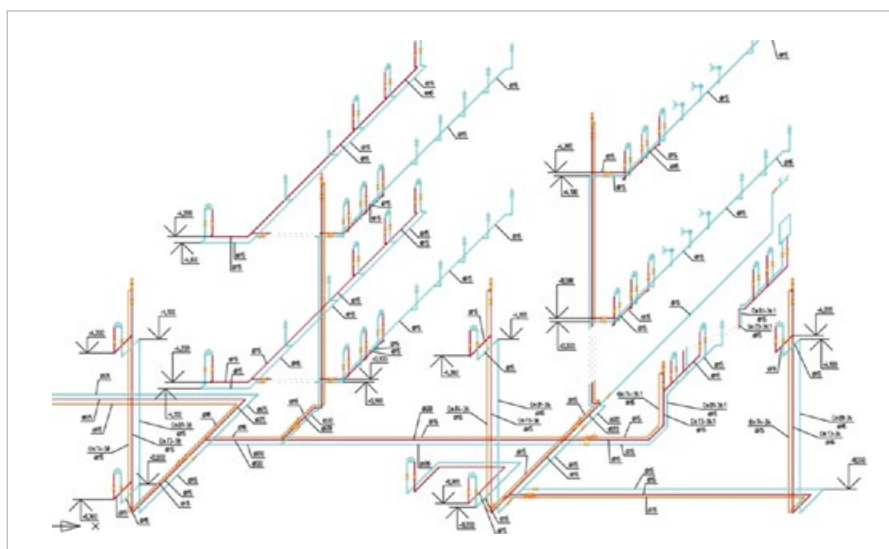


Рис. 2. Аксонометрическая схема системы водоснабжения и водоотведения, выполненная в паюCAD BIM BK по проекту трёхэтажной школы на 1100 учащихся

Широкая номенклатура санитарно-технического оборудования, предназначенного для объекта, включала:

- стандартные раковины и ручки со смесителями для учебных кабинетов;
- водоотводные лотки и душевые сетки в душевых для персонала и для спортивного зала;
- специализированное моечное оборудование и оборудование для подготовки и приготовления пищи в столовой.

**Максимально эффективно применяя инструменты паюCAD BIM BK, команда специалистов «ОМНИ Проект» почти вдвое сократила общее время проектирования, свела к минимуму риск появления ошибок, а также нашла решение нескольких специфических задач**

Система водоснабжения предусматривалась тупиковой с нижней разводкой, состоящей из пластиковых и стальных трубопроводов. Система водоотведения — закрытой, самотёчной из полимерных раструбных трубопроводов.

Максимально эффективно применяя инструменты паюCAD BIM BK, команда «ОМНИ Проект» почти вдвое сократила общее время проектирования, свела к минимуму риск появления ошибок, а также нашла решение нескольких специфических задач.

**Реализация проекта в паюCAD BIM BK**

Первая сложность состояла в необходимости создать базу части применяемого в проекте оборудования, особенно для столовой. С помощью инструмента создания и редактирования базы оборудования специалисты «ОМНИ Проект» внесли в проект точные параметры водопотребления для каждой позиции, а также создали трёхмерные отображения для сводной BIM-модели.

Далее предстояло рассчитать диаметры магистральных и питающих трубопроводов, определить требуемые напоры насосного оборудования. Для этой цели специалисты применили встроенный расчётный инструмент, который основывается на гидравлических параметрах оборудования из базы данных.

«Расчёт организован в соответствии с действующими строительными нормами с учётом характеристик и количества оборудования, а также графика водопотребления и вероятности его действия.



Таким образом, оптимально подобранные диаметры трубопроводов позволяют уменьшить суммарные потери давления, сократить мощность насосного оборудования и затраты на его обслуживание», — говорит Вадим Кубанкин.

Применение nanoCAD BIM VK также обеспечило возможность произвести более точные расчёты расхода на участках сетей благодаря тому, что при построении модели учитываются уникальные параметры водоразборной арматуры, в том числе для помещений столовой.

На финальном этапе требовалось оформить полученные планы и схемы систем и выпустить документацию в соответствии с требованиями ГОСТ.

«Эту задачу мы решили с помощью автоматической расстановки аннотаций на элементах сетей. При этом указываемые параметры (наименования стояков, диаметры трубопроводов, уклоны, отметки труб и т.д.) также автоматически задавались на выносках с учётом расчётной модели сети», — говорит Наталья Чижевская.

**Результат: сокращение сроков проектирования на 40 %**

В ходе проектирования достигнуты следующие промежуточные цели:

1. Проведён подсчёт материалов и оборудования для выпуска спецификации с учётом различий в нормах и структуре водопотребления, сантехническом оборудовании, водоразборной арматуре помещений с разным функционалом.
2. С помощью инструмента создания и редактирования базы оборудования создана база данных части применяемого в проекте оборудования, в том числе для столовой.

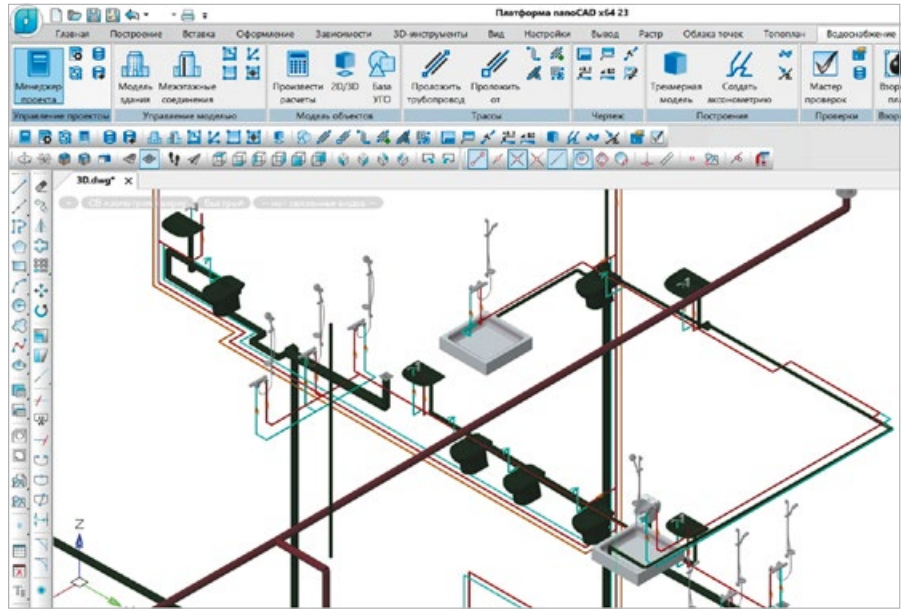


Рис. 3. 3D-модель системы водоснабжения и водоотведения, выполненная в nanoCAD BIM VK по проекту трёхэтажной школы на 1100 учащихся

3. Созданы трёхмерные отображения оборудования для сводной BIM-модели.
4. С использованием встроенного расчётного инструмента, который основывается на гидравлических параметрах оборудования из базы данных, рассчитаны диаметры магистральных и питающих трубопроводов, определены необходимые напоры насосного оборудования.
5. Благодаря тому, что при построении модели учитываются уникальные параметры водоразборной арматуры, проведены высокоточные расчёты расхода на участках сетей.
6. Сформирована сводная BIM-модель систем водоснабжения и водоотведения.
7. Полученные планы и схемы систем, а также документация по проекту оформлены и выпущены в соответствии с ГОСТ.

«С помощью nanoCAD BIM VK мы сократили сроки проектирования. Ранее от получения исходных данных до момен-

та выпуска финальной документации по подобным проектам проходило не менее трёх месяцев с учётом ручного начертания схем, их расчёта и расстановки аннотаций. Комплекс nanoCAD BIM VK позволил нам разработать проект за два месяца», — отмечает Вадим Кубанкин.

Таким образом, применение nanoCAD BIM VK позволило на 40 % повысить эффективность проектирования благодаря автоматизации при расчёте модели сетей, выгрузке их схем, аннотировании элементов, формировании спецификаций обо-

**Применение nanoCAD BIM VK позволило на 40 % повысить эффективность проектирования благодаря автоматизации при расчёте модели сетей, выгрузке их схем, аннотировании элементов, формировании спецификаций оборудования, изделий и материалов**

рудования, изделий и материалов. В дальнейшем использование nanoCAD BIM VK помогло сэкономить время при прохождении госэкспертизы, поскольку проект был выполнен в соответствии со всеми отраслевыми нормами и требованиями к оформлению документации. ●

1. Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов, а также о внесении изменения в пункт 6 Положения о выполнении инженерных изысканий для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства: Постановление Правительства РФ от 15.09.2020 №1431 (с изм. и доп.) [Действ. до 01.03.2023].

Поз	Наименование и техническое описание	Тип, марка, обозначение (подшипник, обозначение)	Код принадлежности	Поставщик	Ед. измерения	Кол.	Масса 1 ед. из	Примечание
	Комплекс из 2-х выключателей автоматических, выключ. 16А 230В 1P+N		00000000	Батарея 2х 1 ед.	шт	2	0,58 кг	
	Руч. выкл. 16А 230В							
	Труба Экопластик РН 20		01000000	Экопластик	м	100		
	Труба Экопластик РН 25		01000000	Экопластик	м	27		
	Труба Экопластик РН 32		01000000	Экопластик	м	817		
	Трубопровод из под. стальной балки с резьбой 2x25 мм	ГСТ 32x25-75			м	75		
	Трубопровод из под. стальной балки с резьбой 2x25 мм	ГСТ 32x25-75			м	4		
	2 шт							
	Водоразборная баб.ВРМАС 16 40 20 15 (защита от перелива)	4017 00 000105	000 000000 4.00*	шт	шт	10		
	Водоразборная баб.ВРМАС 16 40 20 20 (защита от перелива)	4017 00 000102	000 000000 4.00*	шт	шт	3		
	Водоразборная баб.ВРМАС 16 40 20 25 (защита от перелива)	4017 00 000105	000 000000 4.00*	шт	шт	1		
	Водоразборная баб.ВРМАС 16 40 20 30 (защита от перелива)	4017 00 000102	000 000000 4.00*	шт	шт	33		

Рис. 4. Спецификация оборудования, изделий и материалов, сформированная в nanoCAD BIM VK по проекту трёхэтажной школы на 1100 учащихся






# ЭКВАТЭК 30 ЛЕТ ECWATECH

Юбилейная международная выставка технологий и оборудования для инженерной инфраструктуры, коммунальной и промышленной водоподготовки, водоснабжения, водоотведения и очистки сточных вод

**10-12 СЕНТЯБРЯ  
2024**

**МОСКВА, КРОКУС ЭКСПО**



**МЕСТО ВСТРЕЧИ**  
ПРОФЕССИОНАЛОВ ВОДНОЙ ОТРАСЛИ  
С ПОСТАВЩИКАМИ ТЕХНОЛОГИЙ,  
ОБОРУДОВАНИЯ И УСЛУГ ДЛЯ РЕШЕНИЯ  
ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗАДАЧ

Принять участие



ООО «ЭВР» | РЕКЛАМА

Организатор:  ExpoVision  
Rus

[WWW.ECWATECH.RU](http://WWW.ECWATECH.RU)







## Текущая ситуация и тенденции на рынке насосного оборудования в условиях санкций

За последние два года рынок инженерного оборудования России и Беларуси претерпел кардинальные изменения, затронувшие в том числе и сегмент насосного оборудования. После введения санкций многие европейские компании прекратили в России свою деятельность...

В связи со сложившейся на рынке ситуацией образовался дефицит оборудования, который быстро принялись «закрывать» новые поставщики китайских насосов. Появилось много неизвестных продавцов и брендов. Поставками насосов занялись компании и люди, которые не специализируются на данном направлении и не имеют технических компетенций в области насосного оборудования. Это несёт определённую опасность для клиентов и покупателей, а именно:

- 1. Отсутствие официальных представительств и официальной гарантии завода-изготовителя.** Практически ни у одного китайского бренда насосного оборудования нет официального представительства ни в России, ни в Беларуси.
- 2. Отсутствие как технической документации на поставляемое оборудование на русском языке, так и программ подбора насосного оборудования.** Вся документация поставляется на китайском языке либо с малопонятным машинным переводом, так как производство в Китае в первую очередь ориентировано на внутренний рынок. Подбор оборудования производится по каталогам, в которых многие технические характеристики отсутствуют.
- 3. Низкая квалификация продавцов.** Некорректный подбор насоса сильно снижает эффективность и надёжность системы.

**4. Отсутствие официального сервиса и запчастей в наличии.** При эксплуатации происходит естественный износ оборудования, необходимо регулярное регламентное обслуживание и замена частей насоса. Сроки поставок запасных частей от завода-изготовителя при их отсутствии на складе у поставщика составляют более двух месяцев, что влечёт за собой простой оборудования.

**5. Качество соответствует стоимости.** В Китае на заводах существует градация цены и качества. Поэтому, выбирая оборудование исключительно по низкой цене, клиент всегда заведомо получает более низкое качество.



Однако, несмотря на столь сложную ситуацию, на рынке остались компании-производители насосного оборудования, например, «ВИЛО РУС», которые ни на день не прекращали свою работу, отгрузки, взаимодействие с клиентами и проведение сервисного обслуживания.



**Автор:** Артём КРАСКО,  
ведущий инженер по продажам  
компании «ВИЛО БЕЛ»





Благодаря грамотной и слаженной работе менеджмента компании «ВИЛО РУС» удалось не только сохранить локальное производство оборудования под брендом Wilo, но и впоследствии нарастить количество выпускаемой техники. Этот процесс был непростым. В связи с глобализацией многие компоненты для сборки насосного оборудования поставлялись европейскими поставщиками. Из-за санкций данные компоненты стали недоступны.

Требовалось оперативно найти замену ушедшим поставщикам, локализовать

производство комплектующих и при этом получить продукт по качеству ничем не уступающий европейскому и соответствующий всем техническим требованиям группы WILO.

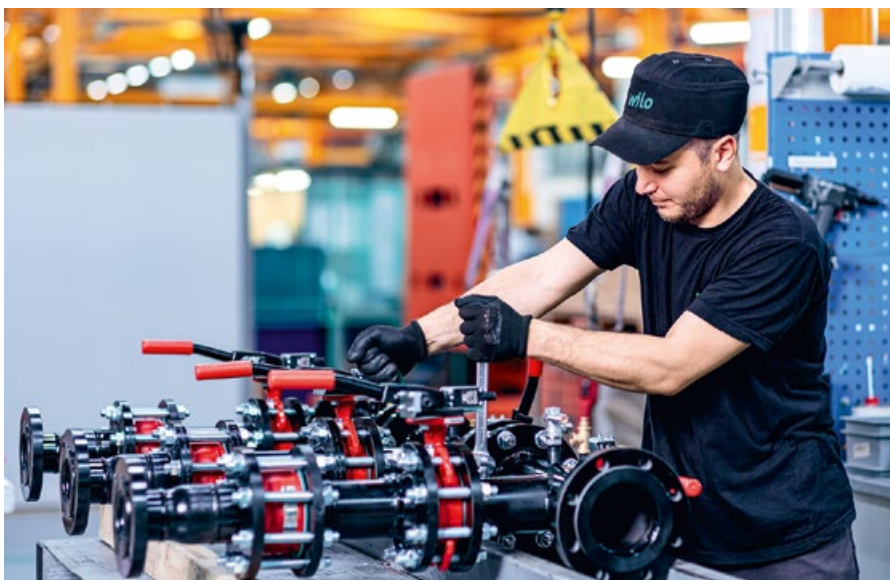
В 2023 году на насосы Wilo серии IL, VL, Atmos GIGA-N получено заключение Минпромторга России, подтверждающее их производство на территории РФ. Указанные модельные ряды включены в перечень ГИСП. Качество насосов Wilo остаётся неизменно высоким. Каждый выпускаемый насос проходит испытания на стенде

на герметичность, плотность и прочность. Также производственная площадка в городе Ногинске выпускает установки повышения давления и пожаротушения, насосы двухстороннего входа, погружные насосы, шкафы управления.

В 2023 году дополнительно к бренду Wilo компания «ВИЛО РУС» вывела на рынок собственный бренд Native. Под брендом Native поставляются аналоги насосов, которые ранее завозились из Европы и попали под санкции.



⌘ Циркуляционный насос для систем отопления Native серии NOCE ECO



За брендом Native стоят ресурсы и опыт компании «ВИЛО РУС»:

- оптимизированный ассортимент;
- тестирование образцов на испытательном стенде и сертификация;
- складской запас;
- техническая поддержка и сервис;
- маркетинговая поддержка;
- обучение.

В 2024 году наблюдается насыщение рынка насосным оборудованием, появляется негативный опыт применения китайской техники с низкой ценой, а потому растёт избирательность клиентов в выборе производителя и поставщика насосов. Компания «ВИЛО РУС» продолжает расширение производственных мощностей и дальнейшую локализацию производства в России, увеличивает номенклатуру производимого оборудования. ●





## Особенности эксплуатации фильтра смешанного действия в процессе обессоливания воды

В данной статье рассмотрен вопрос влияния углекислоты, содержащейся в воде, на процесс ионообменного обессоливания воды смолой смешанного действия. Представлены экспериментальные данные. Даны рекомендации по ведению процесса обессоливания с использованием смолы смешанного действия.

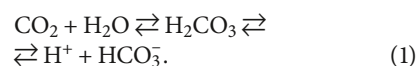
Основным показателем качества ультрачистой воды является удельная электрическая проводимость воды (электропроводность). Минимальная возможная электропроводность воды составляет 0,055 мкСм/см. Считается, что при данном значении электропроводности в воде не содержится ионов. Удаление ионов из воды можно производить несколькими способами. В настоящее время наибольшее распространение имеют два способа: ионообмен и обратноосмотическое обессоливание.

Для удаления ионов ионообменом используют катионитные и анионитные смолы в форме  $H^+$  и  $OH^-$ , соответственно. То есть все катионы, содержащиеся в воде, замещаются на катионите на катионы водорода  $H^+$ , и анионы замещаются на анионите на анионы гидроксила  $OH^-$ . В результате получаются молекулы воды, и, соответственно, из воды удаляются все ионы при условии, что концентрация катионов равна концентрации анионов в [мг-экв/л].

Для достижения наибольшей эффективности по удаляемым ионам используют смолу смешанного действия. Такая смола состоит из катионита и анионита, смешанных в определённых пропорциях. Регенерация такой смолы довольно затруднительна, и, как правило, после истощения ионообменной ёмкости по  $H-OH$  такую смолу просто меняют на новую. Очевидно, что рационально использовать данную смолу можно только для удаления из воды небольших концентраций ионов, оставшихся после основной стадии обессоливания. Как правило, на основной стадии обессоливания используют обратноосмотические установки. После обратного осмоса в воде остаётся около 1 % ионов от их концентрации в исходной воде. Соответственно, это позволяет эффективно эксплуатировать фильтр со смолой смешанного действия.

Но в данной ситуации существует одна серьёзная проблема, вызванная содержанием в воде диоксида углерода. Давайте остановимся на этом подробнее.

Любая вода, имеющая контакт с атмосферным воздухом, содержит диоксид углерода, так как диоксид углерода реагирует с водой с образованием угольной кислоты. Также диоксид углерода попадает в воду от различных геологических или биохимических процессов. Чем больше в воде содержится газообразного диоксида углерода, тем меньше степень его диссоциации в воде с образованием угольной кислоты по уравнению:



Так, при содержании в воде 11 мг/л газообразного диоксида углерода степень его диссоциации составляет всего 4,2%. Поскольку в поверхностных водах содержание диоксида углерода в среднем составляет от 2,5 до 15 мг/л, то большая его часть находится в газообразном состоянии, а не в форме угольной кислоты или ионов  $H^+$  и  $HCO_3^-$ . Соответственно, газо-

**Для достижения наибольшей эффективности используют смолу смешанного действия. Она состоит из катионита и анионита, смешанных в определённых пропорциях. Регенерация такой смолы довольно затруднительна, и после истощения ионообменной ёмкости по  $H-OH$  такую смолу просто меняют на новую**

образный диоксид углерода не гидратируется водой, в отличие от ионов, и при обратноосмотическом обессоливании диоксид углерода проникает через разделяющую мембрану и попадает в фильтрат. Если далее фильтрат направлять в фильтр смешанного действия, то в фильтре происходит удаление газообразного диоксида углерода по следующей схеме.

Ион бикарбоната ( $HCO_3^-$ ), как анион диссоциации угольной кислоты, обменивается на анионитной части смолы смешанного действия на гидроксил ( $OH^-$ ).

Катион водорода  $H^+$  уголекислоты не может обменяться на такой же катион водорода содержащейся в катионитной части смолы смешанного действия. После обмена бикарбоната на гидроксил получается молекула воды вместо уголекислоты, и рН воды растёт, соответственно, продолжается диссоциация оставшегося газообразного диоксида углерода. В результате весь газообразный диоксид углерода удаляется из воды. При этом он содержится в виде бикарбоната на анионитной части смолы смешанного действия.

Очевидно, что часть ионообменной ёмкости анионита занята бикарбонатом угольной кислоты, при этом ионообменная ёмкость катионита осталась прежней (изначальной). Соответственно, при пропускании воды, содержащей, кроме катионов и анионов солей в равных эквивалентных концентрациях, ещё и уголекислоту, обменная ёмкость анионита заканчивается значительно быстрее, чем обменная ёмкость катионита.

Производители смол смешанного действия стараются сделать такое соотношение катионита и анионита, чтобы обменная ёмкость по катионам была равна обменной ёмкости по анионам. Например, если ионообменная ёмкость по катионам в Н-форме составляет около 1,8 г-экв/л, а по анионам в ОН-форме около 1,1 г-экв/л, то катионит и анионит смешивают в пропорции 1:1,5.

В результате при пропускании через фильтр с 2,5 л смешанной смолы (1 л катионита и 1,5 л анионита) воды с концентрацией ионов 10 мг/л (0,119 ммоль/л в пересчёте на  $NaHCO_3$ ) и концентрацией диоксида углерода 10 мг/л (0,227 ммоль/л) фильтроцикл данного фильтра следует рассчитывать исходя из общей концентрации  $0,119 + 0,227 = 0,346$  ммоль/л, а не из концентрации только ионов солей.

Фильтроцикл в данном случае при использовании полной обменной ёмкости при расчёте по аниониту составит:

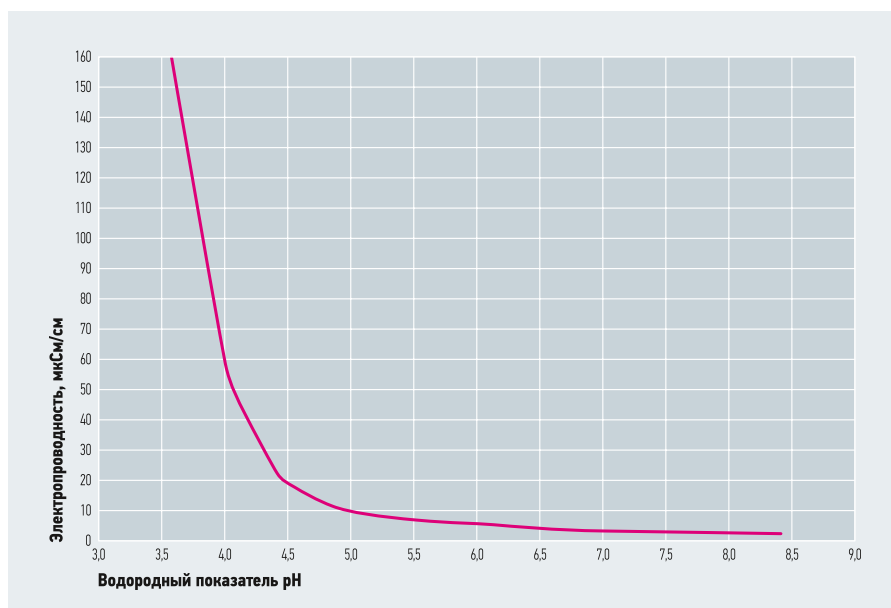
$$1,65/0,346 = 4,768 \text{ м}^3 = 4768 \text{ л,}$$

где 1,65 — обменная ёмкость анионита ( $1,1 \times 1,5 = 1,65$  г-экв/л). Если бы в воде не было диоксида углерода, то фильтроцикл составил бы:

$$1,65/0,119 = 13,865 \text{ м}^3 = 13\ 865 \text{ л.}$$

Как видно, фильтроцикл при отсутствии уголекислоты в три раза больше для данных условий, чем в присутствии уголекислоты. То есть использовать фильтр смешанного действия как ступень декарбонизации воды — достаточно дорогое удовольствие.

Проведём небольшой эксперимент. Исходная вода проходит обратноосмотическое обессоливание и затем проходит



⚡ Рис. 1. Зависимость электропроводности фильтрата фильтра смешанного действия от рН

фильтр смешанного действия для получения деионизированной воды. Электропроводность исходной воды равна 400 мкСм/см. Концентрация уголекислоты в воде — 11 мг/л. Значение электропроводности фильтрата после фильтра составило 2,4 мкСм/см, при этом рН фильтрата был 8,4. Данное значение рН говорит о том, что в фильтрате практически нет уголекислоты.

Остаточное количество бикарбоната в фильтрате обеспечивает в соответствии с уголекислотным равновесием при отсутствии уголекислоты рН = 8,4, а не 7,0. Значение рН = 7,0 будет наблюдаться только при электропроводности фильтрата менее 0,1 мкСм/см (фактически при отсутствии ионов солей).

### Фильтроцикл при отсутствии уголекислоты оказывается в три раза больше, чем в присутствии уголекислоты

Значение рН = 8,4 говорит о том, что фильтр смешанного действия эффективно удаляет диоксид углерода из воды. Через определённое количество прошедшей через фильтр воды стало наблюдаться увеличение электропроводности фильтрата и уменьшение значения рН. Это говорит о том, что закончилась обменная ёмкость анионита в ОН-форме. При этом ещё осталась обменная ёмкость катионита в Н-форме. Соответственно, в фильтрате содержатся только катионы водорода и начинают появляться одновалентные анионы, из-за чего падает рН воды и увеличивается электропроводность.

Достаточно интересен сам процесс появления анионов в фильтрате. Очевидно, что в фильтрате после истощения ионообменной ёмкости анионита вначале появляются хлориды и бикарбонаты. При этом, так как в качестве катионов имеются только ионы водорода, происходит падение рН и переход бикарбонатов, которые находятся в воде в виде угольной кислоты, в газообразный диоксид углерода.

Соответственно, в воде, проходящей фильтр, отсутствуют бикарбонаты, поскольку они переходят в диоксид углерода, и в соответствии с законом действующих масс бикарбонаты, находящиеся на анионите, начинают активно переходить в воду и сразу же переходить в газообразный диоксид углерода. При этом падает значение рН. Данный процесс происходит до значения рН = 4,5. После этого значения рН анионит истощается по бикарбонату, в воду начинает переходить хлорид, и, соответственно, появляется соляная кислота. Как известно, ниже значения рН = 4,5 в воде начинают появляться анионы сильных кислот. При этом начинает резко возрастать значение электропроводности воды, так как соляная кислота не переходит в газообразное состояние, в отличие от уголекислоты.

На рис.1 изображена зависимость электропроводности фильтрата фильтра смешанного действия от рН в условиях, когда израсходована ёмкость анионита в ОН-форме для данного эксперимента. Из рис.1 видно, что до значения рН = 4,5 электропроводность росла незначительно (от 2,4 до 20 мкСм/см). При дальнейшем понижении рН электропроводность начала резко расти, так как в фильтрате начали появляться сильные кислоты.



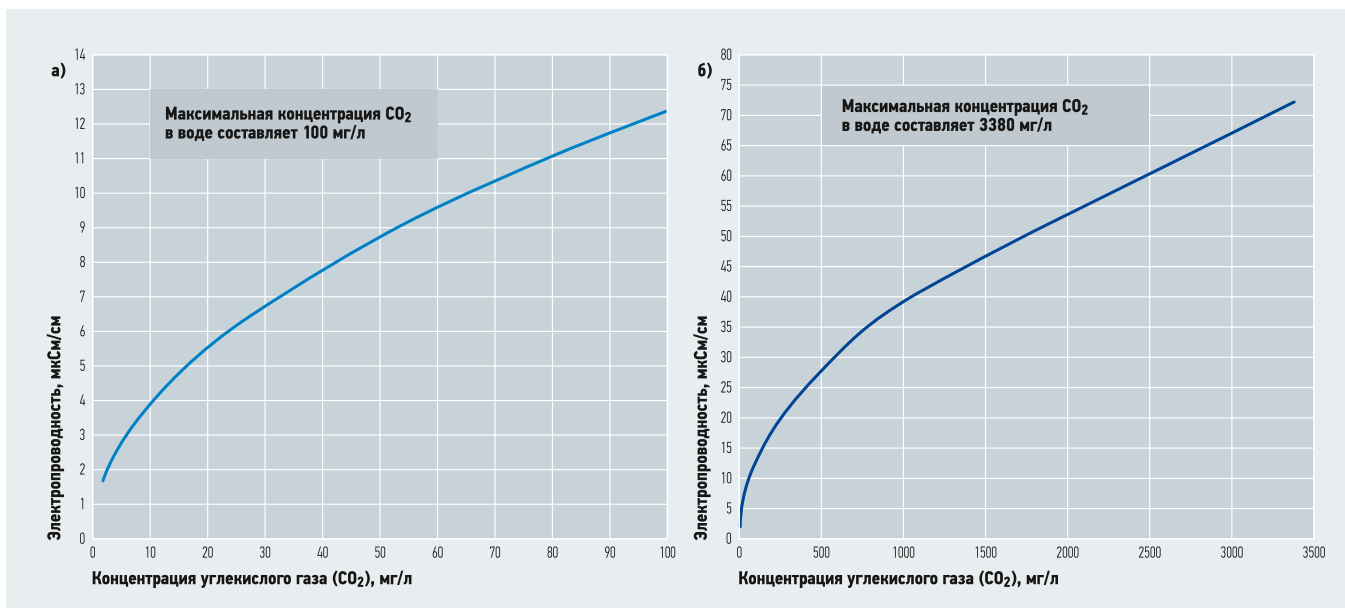


Рис. 2. Зависимость электропроводности воды от концентрации в ней диоксида углерода

В табл.1 представлены расчётные данные по диссоциации углекислого газа в воде. В табл.1 последовательно (слева направо) представлены данные по концентрации газообразного диоксида углерода в [ммоль/л] и [мг/л], затем значение рН воды, содержащее данное количество углекислого газа, затем концентрация в [ммоль/л] уголекислоты, диссоциированной в воде, и значение электропроводности, вызванное этим количеством диссоциированной уголекислоты, затем концентрация уголекислоты в воде в [мг/л], коэффициент *n* перевода [мг/л] уголекислоты в [мкСм/см] и доля диссоциации углекислого газа.

Как можно видеть из табл. 1, при концентрации CO<sub>2</sub> в воде 2 мг/л доля диссоциировавшего CO<sub>2</sub> составляет около 10% (0,0989). При 100 мг/л только 1,4% диоксида углерода переходит в воду в уголь-

ную кислоту. При максимальной концентрации в воде диоксида углерода (при температуре воды 0°C), равной 3380 мг/л, доля составит 0,24%.

На рис. 2 представлена зависимость электропроводности воды от концентрации в ней диоксида углерода.



Рис. 2а и 2б отличаются только максимальной концентрацией CO<sub>2</sub> в воде. Как можно видеть, электропроводность растёт достаточно быстро в области небольших значений CO<sub>2</sub> (до 10 мг/л). Затем электропроводность относительно увеличения концентрации CO<sub>2</sub> меняется незначительно. Это вызвано существенным уменьшением доли диссоциации диоксида углерода в воде при увеличении его концентрации.

Соответственно, если посмотреть на рис.1, то очевидно, что до значения рН = 4,5 электропроводность воды преимущественно определяется уголекислотой. Но после значения рН = 4,5 в воде начинают появляться сильные кислоты, и электропроводность воды резко возрастает и в основном определяется сильными кислотами.

Основным выводом является то, что перед фильтром смешанного действия необходимо обеспечить удаление уголекислоты из воды. Это позволит значительно (для некоторых случаев в несколько раз) увеличить фильтроцикл фильтра смешанного действия и повысить качество фильтрата.

Это можно сделать двумя способами. Первый — дозировать в воду перед установкой обратного осмоса раствор едкого натра до значения рН воды, равного 8,5. Это позволит связать уголекислоту в бикарбонат натрия и вывести с мембраны в концентрат. Второй способ — после обратного осмоса использовать раздельное Н-ОН-ионирование. В первом случае будет требоваться также умягчение воды перед обратным осмосом. Во втором случае будет требоваться проведение регенерации Н-ОН-фильтров. ●

Расчётные данные по диссоциации углекислого газа в воде

табл. 1

CO <sub>2</sub> , ммоль/л	CO <sub>2</sub> , мг/л	рН	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , ммоль/л	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , мкСм/см	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , мг/л	<i>n</i>	Доля диссоциации
0,045	2	5,35	0,0044	1,7540	0,2788	0,158	0,0989
0,090	4	5,20	0,0063	2,4805	0,3943	0,158	0,0699
0,136	6	5,11	0,0077	3,0380	0,4829	0,158	0,0571
0,181	8	5,05	0,0089	3,5080	0,5576	0,158	0,0494
0,25	11	4,98	0,0105	4,1135	0,6539	0,158	0,0421
0,363	16	4,90	0,0127	4,9611	0,7886	0,158	0,0349
0,568	25	4,80	0,0159	6,2013	0,9858	0,158	0,0279
1,136	50	4,65	0,0224	8,7700	1,3942	0,158	0,0197
1,704	75	4,56	0,0275	10,7411	1,7075	0,158	0,0161
2,272	100	4,50	0,0318	12,4027	1,9717	0,158	0,0139
3,409	150	4,41	0,0389	15,1902	2,4148	0,158	0,0114
4,545	200	4,35	0,0449	17,5401	2,7884	0,158	0,0098
6,818	300	4,26	0,0550	21,4822	3,4151	0,158	0,0080
22,727	1000	4,00	0,1005	39,2209	6,2351	0,158	0,0044



## Автономное водоснабжение частного дома: основы, этапы и выбор оборудования

Автономное водоснабжение обеспечивает поступление воды в строение вне зависимости от наличия подключения к магистральной сети. Обычно подобные коммуникации используют за городской чертой, в частных домах. Для организации независимой системы водоснабжения используют колодцы или скважины. Каждый вариант имеет свои особенности монтажа, а также нюансы выбора оборудования. Об этих тонкостях расскажет Максим Миронов, менеджер отдела (г. Ярославль), эксперт «Лемана ПРО» (ex. «Леруа Мерлен»).

### Источники воды

Источники воды, такие как скважины и колодцы, играют ключевую роль в обеспечении автономного водоснабжения частных домов. Скважины представляют собой искусственные структуры, обычно пробуренные на значительную глубину в поисках подземных водоносных слоёв. Они обеспечивают доступ к подземным запасам воды и требуют использования насосов для извлечения воды непосредственно на поверхность.

Колодцы — это поверхностные источники воды, часто располагаемые на относительно малой глубине. Вода в колодцах обычно находится в небольших подземных резервуарах или артезианских источниках, она добывается с помощью насосного оборудования. При выборе между скважиной и колодцем следует учитывать важные факторы, такие как глубина водоносного слоя, качество воды, стоимость строительства и обслуживания, а также требования к разрешениям и лицензиям в зависимости от региональных законов и нормативов.

### Как рассчитать дебит скважины и колодца

Расчёт дебита скважины включает в себя оценку скорости потока воды, поступаю-

щей из скважины. Этот процесс зависит от нескольких факторов, включая геологические характеристики местности, диаметр скважины или колодца, глубину залегания водоносного слоя и некоторые другие параметры.

Одним из наиболее распространённых методов расчёта дебита является использование формулы для оценки расхода воды на основе измеренного уровня статического напора (гидравлического уровня) и коэффициента продуктивности скважины. Этот коэффициент учитывает гидравлические характеристики геологических формаций, через которые проходит поток воды.

Другой метод — проведение испытаний насоса, в ходе которых определяется фактический расход воды при работе насоса на различных режимах.

При проведении расчётов необходимо также учитывать потребности водопотребления, сезонные изменения и возможные факторы, влияющие на дебит скважины в течение времени.

Обычно для точного расчёта дебита скважины рекомендуется обратиться к специалистам-гидрогеологам или инженерам, имеющим опыт в этой области, чтобы учесть все существенные нюансы и обеспечить надёжное водоснабжение.







### Этапы монтажа системы автономного водоснабжения

Организация автономного водоснабжения частного дома требует точного расчёта потребления воды. По нему определяется число точек водоразбора, необходимость подключения бытовой техники, тип разводки. По этим данным специалист подбирает оборудование, которое сможет обеспечить нужное давление в системе.

Работы выполняются в несколько этапов. Первый шаг — подготовка существующей системы. Монтаж начинается от точки водопотребления, не от скважины или колодца. Поэтому к сантехническому прибору крепится труба с муфтой, врезается запорный клапан, чтобы перекрыть поток воды и в будущем была возможность заменить прибор. При открытой разводке используют клипсы, их располагают на стенах. Если трубы будут проходить сквозь стены, то в этих местах ставят защитный стакан.

После подготовки всех существующих элементов водопровода переходят к уста-

новке и подключению насосного оборудования. Его цель — подача воды в строение. Насосы плохо переносят отрицательную температуру, так как вода внутри замерзает. Монтаж из-за этого делают в отапливаемых помещениях. Подключение насоса начинается от источника — прокладывают трубу к оборудованию. Устанавливают

тройник, обратный клапан, фильтры для очистки. Затем выполняют подключение к электросети. Устанавливают манометр, реле сухого хода. Затем монтируют расширительный бак. Он нужен при водопроводе напорного типа, при самотёчном варианте не используется. Бак присоединяют с входным и выходным отверстием. Внутри находится мембрана, она растягивается при заполнении ёмкости водой. Реле давления соединяется с датчиком включения и выключения насосного оборудования. Далее ставятся фильтры. Оборудование для механической очистки монтируется перед насосом. Фильтры тонкой очистки ставятся после бака.

Каждый из этих этапов требует внимательного планирования, качественного выполнения и соответствия санитарным и строительным нормам для обеспечения надёжной и безопасной работы системы автономного водоснабжения.

**Какое оборудование выбрать для автономного водоснабжения?** Автономное водоснабжение требует установки специального оборудования. Рассмотрим особенности каждого компонента.



### Насосное оборудование

После того как определён источник воды, приступают к выбору насосного оборудования. С его помощью будет осуществляться поступление жидкости к точкам водоразбора. Существует несколько разновидностей насосов, используемых в автономных системах: поверхностные, погружные и скважинные насосы.

Поверхностный тип подходит для выкачивания воды из скважин и колодцев небольшой глубины. Главный параметр при выборе — стойкость прибора к грязи, взвесям, песку. Насос не должен потерять функциональность, если все эти примеси попадут внутрь него. Предпочтение отдают моделям из нержавеющей стали, композитов или пластика.



Если источник располагается на глубине до 8 м от уровня земли, то используют погружной насос. Он выполняется в виде цилиндра, чтобы легко входить в узкие скважины и колодцы.

Скважинный насос ориентирован на работу на глубине до 200 м. Его погружение происходит с помощью троса. Такие приборы самые прочные и надёжные, но трудны в обслуживании, если потребуются провести профилактический осмотр или ремонт.

Каждый тип насоса не выдерживает работы без воды. Чтобы вовремя заметить этот факт, ставят датчики «сухого хода». Они выключают оборудования, если уровень воды станет ниже допустимого.

Помимо скважины и колодца, источником воды может служить открытый водоём. В таком случае потребуется установка насосной станции. Она состоит из поверхностного насоса, гибкой подводки, гидравлического аккумулятора и реле давления. Также насосная станция пригодится, если в системе нужно повысить давление потока.

### Расширительный мембранный бак

Расширительные баки бывают открытого и закрытого типа. Для приборов первого типа требуется установка на чердаке и дополнительное утепление. Также производят установку автоматики, чтобы предотвратить переполнение. Принцип действия открытого бака основывается на самотёке воды, из-за чего давление в системе может быть низким. Закрытый гидроаккумулятор монтируется в подвальном помещении. Для его работы требуется датчик давления. Преимуществом такого оборудования является запас воды в баке, когда водоразбор прекращается.



### Оборудование для очистки

Вода из источника поступает в неочищенном виде, чтобы она была пригодна к использованию, требуется установить фильтры. Сложность подбора заключается в том, что каждый колодец и скважина индивидуальны — состав воды в них разный. Только после проведения химического анализа получится подобрать эффективный фильтр, который будет справляться со всеми примесями, солями и т.д.

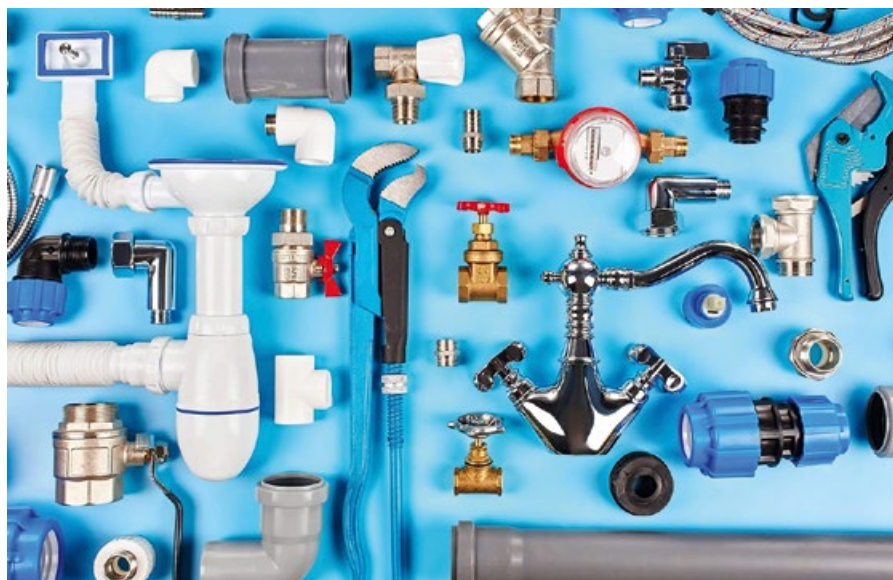
Обычно оборудование для очистки выполняет несколько задач. Оно проводит механическую очистку, осветляет воду, смягчает и обеззараживает её. Первым этапом вода попадает в фильтр механической очистки, где удаляется песок, грязь, глина, ржавчина, взвеси. Осветление помогает снизить содержание в воде микроорганизмов. Применяется метод коагуляции. Умягчение воды избавляет её от солей жёсткости. С помощью засыпного фильтра выполняют обезжелезивание, снижая

«ржавость» воды. Последним этапом вода проходит через ультрафиолетовые стерилизаторы, происходит обеззараживание.

### Трубопровод

Трубопровод выполняется из металлопластика, стальных, полиэтиленовых или полипропиленовых труб. Металлопластиковые трубы можно прокладывать только для внутреннего водопровода. Стальные изделия отличаются прочностью и долговечностью, однако сильно страдают от коррозии. Монтаж в основном выполняется методом сварки. Трубы из полиэтилена хорошо выдерживают температурные перепады за счёт пластичности.

**Обычно оборудование для очистки воды выполняет несколько задач. Оно проводит механическую очистку, осветляет воду, смягчает и обеззараживает её. Первоначально вода попадает в фильтр механической очистки, где удаляется песок, грязь, глина, ржавчина, взвеси**



Полипропиленовые трубы не ржавеют, стыки требуют использование сварочного аппарата. Разводка выполняется с использованием тройников или коллектора.

### Выводы

При выборе насоса для частного дома важно учитывать его соответствие особенностям вашего источника воды, требованиям к производительности и ценовым возможностям. Каждый тип насоса имеет свои преимущества и недостатки, поэтому важно выбрать оптимальный вариант, учитывая все факторы. ●



Фото: пресс-служба АО «Мосводоканал»

## Ответ на рецензию Л.Г. Дерюшева «К вопросу оценки расчётных расходов воды для отраслевых объектов»

В номере № 2/2024 [журнала СОК](#) была опубликована рецензия [1] к.т.н., доцента Л.Г. Дерюшева (РГГРУ) на статью автора «[О расчётной производительности станций водоподготовки](#)» [2], где высказаны некоторые критические замечания касательно содержания статьи. Автор статьи посчитал целесообразным ответить на некоторые утверждения, высказанные Л.Г. Дерюшевым, в своей рецензии. Разберём их по пунктам.

Автор: [А.Ю. РУШНИКОВ](#), к.т.н.,  
главный технолог ООО «Отечественные  
Водные Технологии»

**Цитата из рецензии:** «Согласно последним Постановлениям Правительства РФ, надёжность систем ВиВ необходимо оценивать с учётом научных методов, а не частных умозаключений». Далее в рецензии упоминаются некие условия безотказной работы системы, которые «можно определить по единым правилам, которые используются в технике для обеспечения уровня надёжности системы  $P(t)$  при заданных  $t, \lambda', \lambda, \mu$  и  $r$ ».

Могу с полной ответственностью утверждать, что упомянутыми рецензентом «научными методами» почти никто из специалистов — технологов, проектировщиков — не владеет (и автор статьи — не исключение). И не потому, что сами по себе эти методы плохи или недостоверны, а по причине того, что они не изучаются в ВУЗах, не описаны в учебниках, не отражены в нормативных документах, в частности, в том же Постановлении Правительства РФ от 15 сентября 2023 года № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» (о нём следует несколько слов сказать отдельно). Из этого не следует, будто в СП 31.13330.2021 (и в тех документах, которые были созданы в предыдущие десятилетия и являются для него основой) нет ничего, что касалось бы надёжности работы водопроводных сооружений.

Например, на насосных станциях в зависимости от категории необходимо задавать определённое количество резервных агрегатов, в резервуарах чистой воды (РЧВ) необходимо предусматривать аварийный объём воды, водопроводные сети должны быть закольцованы — и подобных требований в СП великое множество.

**В сводах правил и в других нормативных документах есть требования к надёжности работы водопроводных сооружений. Поэтому математически рассчитываемые критерии надёжности работы системы водоснабжения вполне могут быть введены в состав руководящих документов**

Поэтому математически рассчитываемые критерии надёжности работы системы водоснабжения вполне могут быть введены в состав руководящих документов — и в этом рецензент совершенно прав.

Однако данное новшество должно вводиться на основе чётких и ясных методов расчёта, с осознанным пониманием его необходимости и полезности для широкого круга специалистов.



Фото: special.govrn.ru



Касаясь же новой редакции Постановления Правительства РФ №87, следует отметить, что в ней более подробно прописаны требования к пояснительным запискам к проектам, что, несомненно, правильно, так как ранее по этому вопросу формулировки были довольно расплывчаты. Но некоторые пункты касательно раздела 6 вызывают откровенное недоумение. Например, что значит «описание и обоснование проектных решений, направленных на соблюдение требований технологических регламентов» (подпункт «п»)? Собственно, весь проект от начала до конца и призван способствовать соблюдению технологических регламентов — а как же иначе?

но, речь шла о совершенно иных вещах. А именно о том, что представляется целесообразным несколько увеличить производительность первого подъёма (как правило, из подземного водозабора) и, соответственно, производительность станции водоподготовки за счёт уменьшения часов их работы в сутки — если это не нарушает гидрогеологических условий работы водозабора. Речь, разумеется, идёт о станциях водоподготовки производительностью до 5000 м<sup>3</sup>/сут., где допустима работа в течение части суток.

Повышенная производительность станции водоподготовки является в каком-то смысле дополнительным фактором надёжности работы всей системы, ведь во-

Понятно, что далеко не все преподаватели и работники ВУЗов по специальности «Водоснабжение и водоотведение» (ВиВ) могли воочию наблюдать процесс промывки фильтров (в нашем случае чаще всего напорных), а тем более участвовать в пусконаладочных работах. Если, например, продолжительность промывки одного фильтра составляет 15–20 минут, то при наличии на станции четырёх фильтров общая продолжительность промывки с учётом времени переключения режимов составит не более полутора часов.

**Вполне целесообразным могло быть принятие дополнительных фильтров, которые бы вступали в работу при выходе какого-либо из рабочих фильтров на ремонт. Однако здесь действует уже знакомый всем экономический фактор**

Предусматривать резервные фильтры на такое короткое время работы довольно странно сразу по нескольким причинам.

Во-первых, промывка фильтров по условиям работы станции может требоваться не каждые сутки; при этом фильтр, который простаивал более одних суток, сам рекомендован к промывке перед запуском в работу, что противоречит самому смыслу существования резервного фильтра. Во-вторых, усложняется система автоматизации, когда нужно выключить из работы один фильтр, а включить другой, — намного проще сделать включение/выключение фильтров независимым друг от друга.

В-третьих, гидравлическая нагрузка на запасной фильтр будет меньше, чем на рабочие фильтры, следовательно, гидравлическое сопротивление и качество очистки на разных фильтрах будут неравномерными, что, конечно, нежелательно. Другим решением — и вполне целесообразным — могло бы быть принятие дополнительных фильтров, которые бы вступали в работу при выходе какого-либо из рабочих фильтров на ремонт. Но здесь действует уже экономический фактор.

Строго говоря, процессу промывки напорных фильтров следовало бы посвящать отдельный материал, что возможно будет сделать в будущем. ●



Фото: пресс-служба АО «Мосводоканал»

Было бы занятно получить разъяснение от создателя подобных нормативных требований.

Вообще, саму практику выдавать чуть ли не каждые год-два (а то и чаще) новую редакцию нормативных документов иначе как порочной назвать нельзя. Почему в советские времена было возможно выпустить нормы и правила, которые являлись актуальными многие годы, а ныне не получается? Не оттого ли, что тогда они составлялись учёными и практиками, а сейчас — менеджерами?

**Следующая цитата:** «Неуместны и такие крайности, как выделение времени на промывку фильтров за счёт времени подачи воды потребителям».

Хочется спросить: неужели уважаемый рецензент думает, будто в статье предлагается отключать подачу воды потребителю (населению, промышленности) во время промывки фильтров? Это было бы полной нелепостью и противоречило как здравому смыслу, так и закону. Естествен-

но, допотребление всегда имеет вероятностный характер, и никто не может поручиться, что оно в ближайшей перспективе оно не выйдет за пределы расчётных проектных значений.

**Следующая цитата:** «Допустим, в системе предусматривается  $z = n - m$  рабочих фильтров (элементов) с интенсивностью отказа  $\lambda' = 1/T_0$  ( $T_0$  — наработка на отказ или среднее время между ремонтами, ч) и  $m$  резервных фильтров (элементов), которые с интенсивностью  $\lambda = 1/T_{\text{ц}}$  ( $T_{\text{ц}}$  — время цикла работы фильтра между промывками, ч) замещают рабочие фильтры при остановке последних на промывку...»

Здесь нужно остановиться на понятии «резервный фильтр». Могу отметить, что в бытность свою преподавателем ВУЗа я аналогичным образом произносил некоторые профессиональные слова и выражения, в целом верные, но непосредственное воплощение на практике которых далеко не всегда осознавалось.

1. Дерюшев Л.Г. К вопросу оценки расчётных расходов воды для отраслевых объектов // Журнал СОК, 2024, № 2, С. 38–39.
2. Рушников А.Ю. О расчётной производительности станций водоподготовки // Журнал СОК, 2023, № 2, С. 22–23.



## Специфика монтажа газовой котельной частного дома

Монтаж газовой котельной — это сложный и ответственный процесс, который требует строгого соблюдения всех установленных норм и правил, закреплённых в соответствующих нормативных документах. Газовое отопительное оборудование относится к категории приборов повышенной опасности, что делает необходимым соблюдение особых мер безопасности при его эксплуатации...

В целом при проектировании газовой котельной следует учитывать множество факторов, таких как тип дома, его размеры, количество этажей, число жильцов и их потребность в тепле. Кроме того, необходимо тщательно проработать проект, учитывая все возможные риски и предусмотреть меры по их минимизации.

Все работы по монтажу газовой котельной должны быть выполнены только квалифицированным персоналом, имеющим необходимую подготовку и опыт. Монтажники должны иметь сертификаты и разрешения на работу с газовым оборудованием, а также знать все нормы и правила безопасности.

Кроме того, при монтаже газовой котельной необходимо использовать только качественное оборудование, отвечающее всем нормам и стандартам. Оборудование должно быть проверено на соответствие требованиям безопасности и пройти необходимую сертификацию.

После завершения монтажа газовой котельной необходимо провести соответствующие пусконаладочные работы, чтобы убедиться в её правильной работе и отсутствии утечек газа.

В целом монтаж газовой котельной является сложной и ответственной зада-

чей, которая требует тщательного планирования, подготовки и исполнения. Соблюдение всех норм и правил безопасности, а также использование качественного оборудования и квалифицированного персонала — ключ к успешному и безопасному функционированию этой критичной инженерной системы. В предлагаемой статье мы обсудим ключевые требования для обустройства газового отопления в доме.

Теперь — обо всём по порядку.

**Все работы по монтажу газовой котельной должны быть выполнены только квалифицированным и сертифицированным персоналом, имеющим необходимую подготовку и опыт**

### Нормативные документы

Перечислим нормативные документы, которые регламентируют монтаж газовой котельной:

- ❑ МДС 41.2–2000 [1];
- ❑ СНиП 42-01–2002 [2];
- ❑ СНиП 21-01–97\* [3];
- ❑ СП 60.13330.2016 [4].





## Проектирование котельных

Проектирование отопления газовой котельной является ключевым этапом в процессе подготовки и установки данной инженерной системы.

Выбор материалов и оборудования для газовой котельной также играет важную роль в создании надёжной и эффективной системы отопления. В проекте должны быть указаны типы и модели котлов, бойлеров, насосов, труб и других компонентов, необходимых для работы системы. При выборе оборудования учитываются его технические характеристики, энергоэффективность, стоимость и другие факторы.

Монтажные схемы являются важным элементом проекта отопления газовой котельной. Они позволяют точно определить расположение и соединение всех компонентов системы, а также их взаимосвязь. Монтажные схемы должны соответствовать нормам и требованиям безопасности, предусматривать возможность проведения ремонтных и эксплуатационных работ.

Контроль выполнения работ по монтажу и наладке системы отопления газовой котельной также является обязательным этапом проекта. Он включает в себя проверку качества и соответствия установленного оборудования проекту, проверку правильности монтажа и настройки системы, проверку герметичности и прочности соединений. Контроль должен проводиться квалифицированными специалистами, имеющими соответствующую лицензию и сертификацию.

Правильно разработанный проект отопления газовой котельной обеспечивает экономичную и безопасную работу системы. Он позволяет минимизировать тепловые потери, оптимизировать использование энергии, продлить срок службы оборудования и обеспечить комфортный температурный режим в здании или помещении. Кроме того, правильный проект позволяет избежать ошибок и недостатков при монтаже и эксплуатации системы, что может привести к авариям и повреждениям оборудования.

## Основные требования к газовой котельной в частном доме

Согласно строительным нормам и правилам, минимально необходимая площадь для размещения котельной составляет 5 м<sup>2</sup>, что соответствует объёму в 15 м<sup>3</sup>. Однако, чтобы обеспечить максимальную безопасность и комфорт, рекомендуется использовать помещение объёмом 24 м<sup>3</sup> или площадью 8 м<sup>2</sup>. Такая площадь позволяет разместить всё необходимое



оборудование и обеспечить удобный доступ к нему для обслуживания и ремонта.

Котельная может быть расположена на первом этаже жилого дома, в цоколе, подвале или в пристройке к дому. Важно отметить, что размещение котельной рядом со спальными комнатами запрещено из-за возможных рисков для здоровья и жизни людей, связанных с выделением токсичных газов.

Длина пути от котельной до выхода на улицу не должна превышать 12 м. Это ограничение установлено для обеспечения быстрого и безопасного эвакуации людей в случае чрезвычайной ситуации. При проектировании котельной следует учитывать, что путь от неё до выхода может включать в себя лестницы и коридоры, которые должны соответствовать требованиям пожарной безопасности.

В помещении с газовым оборудованием высота потолков должна быть не менее 220 см, а расстояние от потолка до верхней части оборудования — не менее 100 см. Эти требования необходимы для обеспечения достаточного пространства над оборудованием для его обслуживания и ремонта, а также для предотвращения перегрева и пожароопасных ситуаций.

Кроме того, котельная должна быть оборудована окном и дверью, которые обеспечат достаточную вентиляцию и естественное освещение. Окно должно иметь размеры не менее 0,3 м<sup>2</sup>, а дверь — не менее 0,9 м<sup>2</sup>. Вентиляционная система должна обеспечивать обмен воздуха

в объёме не менее 60 м<sup>3</sup>/ч на каждый киловатт мощности котельной.

При планировании размещения котельной в пристройке следует тщательно изучить и соблюдать дополнительные требования, касающиеся её расположения. Во-первых, окна котельной должны быть расположены на значительном расстоянии от окон основного жилого дома — не менее 12 м. Кроме того, пол котельной должен располагаться на расстоянии не менее 9 м от окон верхних этажей. Это обеспечивает безопасность жителей дома.

Следует также учесть, что установка котельной на лицевой стороне дома запрещена. Это связано с тем, что внешний вид здания может быть испорчен, а также возникают риски для здоровья и безопасности прохожих и самих жильцов.

## Площадь газовой котельной

По нормативным требованиям, минимальный объём помещения для установки газовой котельной составляет 15 м<sup>3</sup> (5 м<sup>2</sup>). Однако для обеспечения максимальной безопасности рекомендуется устанавливать котельное оборудование в помещении площадью не менее 8 м<sup>2</sup>.

Данная площадь позволяет разместить всё необходимое оборудование вдоль стен и создать достаточное расстояние между отдельными элементами системы. Кроме того, это обеспечивает возможность проведения технического обслуживания и ремонта без риска для персонала и окружающей среды. В таком пространстве можно разместить не только саму котельную, но и другие компоненты системы отопления, такие как бойлер, насос, баки для хранения воды и т.д.

Кроме того, в просторном помещении легче поддерживать оптимальные условия температуры и влажности, необходимые для надлежащего функционирования котельной.

**Правильно разработанный проект отопления газовой котельной обеспечивает экономичную и безопасную работу системы. Он позволяет минимизировать тепловые потери и оптимизировать использование энергии**

### Размещение оборудования на кухне

Для домов небольшого размера часто возникает вопрос о размещении котельного оборудования. Одним из вариантов может стать установка газового котла прямо на кухне, однако это требует особой осторожности и тщательного планирования.

Кроме самого газового котла, система отопления включает в себя несколько важных компонентов, таких как смесители, насосы, бойлеры, коллектор и расширительный бак. Все эти элементы необходимы для обеспечения стабильной работы системы отопления и ГВС.

Смесители используются для смешивания холодной и горячей воды, чтобы достичь необходимой температуры. Насосы обеспечивают циркуляцию воды по системе, а бойлеры служат для хранения горячей воды. Коллектор — это узел, который соединяет все трубы системы отопления, а расширительный бак предназначен для приёма избытка воды в системе.

Для размещения всех этих компонентов требуется дополнительная площадь, которая в небольших домах или квартирах может быть ограничена. Кроме того, необходимо учитывать, что котельное оборудование должно быть расположено в специальном шкафу, который обеспечивает достаточный доступ для обслуживания и ремонта. Этот шкаф должен соответствовать определённым требованиям, например, иметь вытяжку для удаления продуктов сгорания и быть изолированным от остального пространства.

В целом размещение котельного оборудования на кухне может быть практичным решением для небольших домов, но требует тщательного подхода и учёта всех необходимых факторов, чтобы обеспечить безопасную и эффективную работу системы отопления.

•• Размеры окна (с учётом рамы) газовой котельной в частном доме

табл. 1

Площадь котельной, м <sup>2</sup>	Площадь окна, м <sup>2</sup>	Размеры окна (дхв), мм
до 10	Не менее 0,90	1500×600
12	1,20	1500×900
14	1,35	1200×1200
16	1,60	1500×1200

### Окно в котельной

Окно в котельной предназначено для защиты дома от взрывной волны. При возгорании и взрыве окно выбивается, а здание остаётся невредимым. Размер окна зависит от площади помещения. Для комнат менее 9 м<sup>2</sup> площадь стекла окна должна начинаться от 80 см<sup>2</sup>, а для больших помещений — 0,03 м<sup>2</sup> на 1 м<sup>3</sup> площади комнаты.

Окно в котельной играет важную роль в защите дома от возможных взрывов и пожаров. Его основная функция — разрушиться при взрыве или пожаре, чтобы позволить взрывной волне выйти наружу и предотвратить повреждение здания. Размер такого окна зависит от площади помещения котельной. Для малых комнат, площадь которых составляет менее 9 м<sup>2</sup>, минимальная площадь стекла окна должна быть не менее 80 см<sup>2</sup>. В то время как для более крупных помещений необходимо предусмотреть площадь стекла окна в размере 0,03 м<sup>2</sup> на каждый кубический метр площади комнаты.

**Окно в котельной играет важную роль в защите дома от возможных взрывов и пожаров. Его основная функция — разрушиться при взрыве или пожаре и тем самым предотвратить повреждение здания**

Этот подход гарантирует, что окно будет способно эффективно выполнять свою функцию защиты, даже в случае возникновения экстремальных ситуаций. Кроме того, правильно подобранное окно также может улучшить вентиляцию в котельной и обеспечить лучшие условия для работы оборудования. Требуемые размеры окна газовой котельной в частном доме приведены в табл. 1.

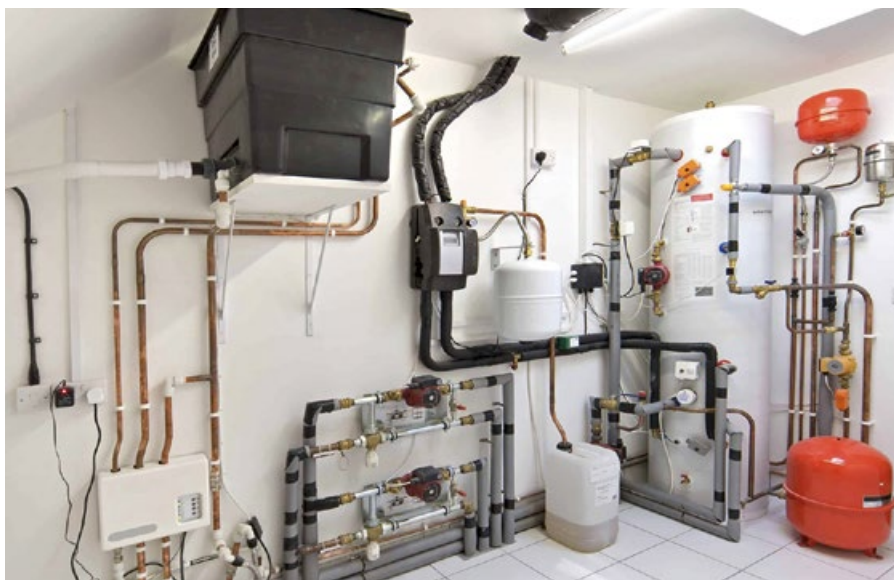
### Требования к входной двери в котельной

Дверь в котельной должна иметь определённые характеристики, чтобы обеспечить безопасность и удобство эксплуатации. Во-первых, она должна открываться наружу, чтобы в случае аварийных ситуаций или пожара было просто и быстро выйти из помещения. Кроме того, ширина двери должна превышать габариты отопительного оборудования на 20 см, чтобы обеспечить свободный доступ к нему для монтажа, ремонта, а также технического обслуживания.

Вторым важным требованием является соответствие дверью стандартам пожарной безопасности. В данном случае дверь должна соответствовать нормам EI15, что означает, что она способна выдерживать воздействие огня в течение 15 минут, не пропуская через себя дым и пламя. Это важно для предотвращения распространения пожара и обеспечения безопасности людей, находящихся в здании.

Третий пункт требований касается наличия порога у нижнего края двери. Он должен иметь высоту 10 см от уровня пола, чтобы предотвратить подтопление котельной в случае разлива воды или затопления помещения. Помимо этого, порог также защищает дверь от повреждения при движении техники и транспорта внутри котельной.

Наконец, в котельной необходимо иметь канализационный трап для сбора воды. Он позволяет эффективно удалять воду, которая может образоваться в результате разлива или утечки, и предотвращать затопление помещения. Канализационный трап должен быть расположен в самой низкой точке пола котельной и иметь достаточное сечение, чтобы обеспечить быстрый отвод воды.





## Требования к стенам

Котельное оборудование является важным элементом инфраструктуры любого здания, поэтому его безопасность и надёжность должны быть на первом месте. Одним из ключевых факторов, обеспечивающих эти качества, является устойчивость стен котельной к воздействию огня.

Согласно нормативным документам, стены котельной должны выдерживать воздействие огня в течение 45 минут. Это необходимо для предотвращения распространения пожара и обеспечения времени на эвакуацию людей и проведение аварийно-спасательных работ.

Для достижения этой цели можно использовать различные строительные материалы, обладающие повышенной огнестойкостью. К таким материалам относятся кирпич, газобетон и пенобетон. Кирпич является традиционным и достаточно надёжным материалом, но при его использовании необходимо учитывать толщину стены, чтобы обеспечить требуемый уровень огнестойкости. Газобетон и пенобетон имеют более низкий вес и лучшую теплоизоляцию, что позволяет уменьшить толщину стены, сохранив при этом её огнестойкость.

Однако даже при использовании огнестойких материалов необходимо соблюдать определённые правила при монтаже котельного оборудования. Например, при размещении настенного газового котла на деревянных стенах обязательно требуется установка негорючей прокладки. Дерево является легковоспламеняющимся материалом, и в случае пожара огонь может быстро распространиться по всему зданию. Прокладка предотвращает контакт горячих поверхностей котла с деревянными стенами и создаёт дополнительный барьер против распространения огня.

Аналогично, напольные котлы также требуют изоляции от деревянного пола. Это необходимо для предотвращения перегрева пола и возникновения очагов пожара. Для этого можно использовать различные материалы, такие как металл, бетон или специальные теплоизоляционные плиты.

## Размещение котельной в цокольном этаже или подвале

Согласно СП 31-106–2002 [5], размещение котельной в цокольном этаже или подвале жилых зданий допускается, но только при соблюдении определённых условий.

Согласно пункту 6.3.2 данного документа, один из этих условий заключается в том, что расстояние от места выхода из котельной до улицы или внутреннего двора не должно превышать 12 м. Это не-



обходимо для обеспечения безопасности жителей дома и персонала, обслуживающего котельную, а также для предотвращения возможных аварийных ситуаций.

## Вентиляция в котельной

Вентиляция в котельной должна быть естественной и обеспечивать высокое качество воздуха. Для этого необходим трёхкратный воздухообмен в час, который позволяет избежать застоя воздуха и накопления вредных веществ. Естественная вентиляция достигается за счёт создания разницы давлений между внешней и внутренней средами, что приводит к естественному движению воздуха через специальные отверстия.

## Вентиляция в котельной должна быть естественной и обеспечивать высокое качество воздуха. Для этого необходим трёхкратный воздухообмен в час, что позволяет избежать накопления вредных веществ в воздухе

Приточное отверстие может располагаться как в стене, так и в дверях. Его размер зависит от площади дома и необходимого объёма воздуха для поддержания комфортных условий. Чем больше площадь дома, тем больше должно быть размера приточного отверстия. Обычно его диаметр составляет от 100 до 300 мм, но в некоторых случаях может быть и больше.

Вытяжной канал должен быть прочным, герметичным и достаточно широким, чтобы обеспечить естественный вывод воздуха наружу. Он должен доходить до кровли и иметь минимальное количество поворотов, чтобы обеспечить эффективную работу системы вентиляции. Кроме того, вытяжной канал должен быть защищён от попадания осадков и птиц, которые могут заблокировать его и нарушить работу всей системы.

Естественная вентиляция является самым простым и экономичным способом обеспечения свежего воздуха в жилых помещениях. Она не требует использования электроэнергии и обслуживания, а также создаёт благоприятную микроклиматическую среду, улучшающую здоровье и комфорт человека. Однако для обеспечения эффективной работы естественной вентиляции необходимо соблюдать определённые правила проектирования и эксплуатации системы.

## Требования к дымоходу

Дымоход является важным элементом любой системы отопления, поэтому его конструкция должна соответствовать определённым требованиям. В первую очередь дымоход должен быть выполнен из материалов, которые обладают высокой теплостойкостью и не подвержены коррозии. Поэтому рекомендуется использовать для его производства нержавеющую или углеродистую сталь.

Кроме того, конструкция дымохода должна обеспечивать свободное движение продуктов сгорания, чтобы исключить возможность их застоя и образования опасных газов. Для этого необходимо соблюдать определённые геометрические параметры. Например, количество изгибов трубы дымохода не должно превышать трёх. Это позволяет минимизировать сопротивление воздушному потоку и обеспечить нормальную работу системы вентиляции.

Дополнительно следует учесть, что между верхним краем дымохода и потолком должно оставаться не менее 20 см. Это необходимо для предотвращения перегрева строительных конструкций и исключения риска возникновения пожара. Кроме того, это обеспечивает достаточную вентиляцию помещения и препятствует накоплению пыли и сажи внутри дымохода.

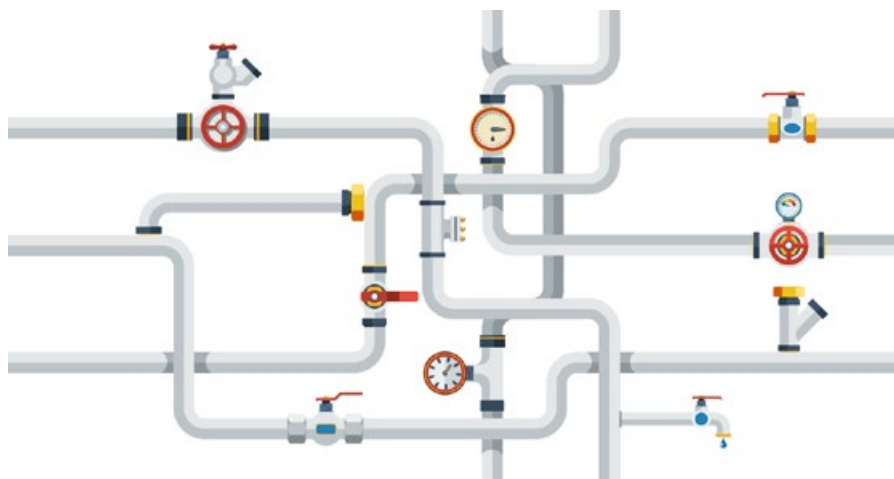
Таким образом, при проектировании и монтаже дымоходов следует строго соблюдать технические нормы и требования, чтобы обеспечить безопасную и эффективную работу системы отопления. ●

1. МДС 41.2–2000. Инструкция по размещению тепловых агрегатов, предназначенных для отопления и горячего водоснабжения многоквартирных или блокированных жилых домов / Дата введ. 01.12.1996.
2. СНиП 42-01–2002. Газораспределительные системы. Актуализ. ред. СНиП 42-01–2002 (с Изм. №1) / Дата введ.: 01.01.2013.
3. СНиП 21-01–97\* (СП 112.13330.2011). Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изм. №1, 2) / Дата введ.: 01.01.1998.
4. СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Актуализ. ред. СНиП 41-01–2003 (с Изм. №1) / Дата введ.: 17.06.2017.
5. СП 31-106–2002. Проектирование и строительство инженерных систем многоквартирных жилых домов / Дата введ.: 01.09.2002.

# Новая эра: история и эволюция теплоснабжения. На что менять стальные трубы

Комфортная температура и доступ к горячей воде — естественная часть нашей жизни. Но так было не всегда. Системы теплоснабжения прошли долгий путь развития — от костров до современных технологичных систем. В этой статье специалисты компании PERTiX расскажут об истории и эволюции теплоснабжения, а также познакомят с последними технологическими достижениями этой сферы.

Автор: Фёдор РАДИН, генеральный директор компании PERTiX



## История теплоснабжения

Первой отопительной установкой в истории человечества можно считать костёр, разведённый внутри пещеры. Однако первые системы отопления появляются вместе с первыми цивилизациями.

### Римский гипocaust

Гипocaust — технология обогрева римских терм и общественных зданий, заимствованная практичными римлянами у древних греков. Он состоял из расположенной под полом или за пределами здания печи, в которой сжигали дрова, и сети каналов, проложенных под полом и в стенах. По этим каналам распространялся тёплый воздух и согревал здание. Система утратила популярность с падением империи, но в конце Средних веков и в эпоху Возрождения её вспомнили и начали модернизировать.

## Первые системы парового и водяного отопления

Первые системы отопления, похожие на современные, появились в XVIII веке в Англии и Франции:

- 1745 год — изобретён первый паровой подогреватель;
- 1777 год — разработана система теплоснабжения для домов в Европе;
- 1831 год — создана система горячего водоснабжения для домов в Европе.

**Технический прогресс развивается по экспоненте. От первого костра до гипocaustа прошли сотни тысяч лет, от гипocaustа до паровых подогревателей — всего несколько тысяч. В наше время системы теплоснабжения постоянно совершенствуются**



⋮ Археологические свидетельства древнеримского гипocaustа





❖ В Гамбурге в 1888 году на Центральной почтовой улице появилась паровая электростанция — одна из первых в Германии. Четыре вертикальных паровых двигателя общей мощностью около 700 кВт·ч снабжали электроэнергией соседние улицы, фондовый рынок и новую ратушу

### Первая установка централизованного снабжения

В 1876 году американский инженер Бертсиль Холли спроектировал и получил патент на первую в мире систему централизованного теплоснабжения. Она обеспечила паровым отоплением жилые дома и производственные строения в городе Локпорте (США).

Система Холли быстро завоевала популярность: к отопительной установке подключалось всё больше домов, а инвестиции в проект составили значительные по тем временам \$25 тыс.

### Первая теплофикационная установка

Пионером в развитии теплофикационных установок стала Германия. Энергетическая отрасль в это время набирает обороты — в 1888 году в Гамбурге была построена одна из первых паровых электростанций, которая уже в 1893-м начала снабжать теплом городскую ратушу. Так появилась первая ТЭЦ в Европе, а за ней и другие, но каждая из них обслуживала только одно здание.

В 1900 году была запущена первая теплофикационная установка в Дрездене (Германия) для муниципальных нужд. До 1914 года ещё пять других немецких городов последовали примеру Дрездена.

### Первая теплофикация в России

В начале XX века в России комбинированная выработка тепла и электроэнергии использовалась на предприятиях, где вырабатывалось большое количество тепла, то есть на сахарных заводах, текстильных фабриках и т.д. На них устанавливали теплосиловые блок-станции, которые обогревали несколько зданий (как правило тех, которые принадлежали владельцу завода).



❖ Электростанция «Бельгийского Анонимного Общества электрического освещения» была запущена в 1898 году, а в 1924-м стала первой теплоэлектроцентралью в СССР

Революция произошла в 1924 году, когда студент Елизар Бродский предложил переоборудовать ГЭС-3 (ныне ЭС-3 имени Л.Л. Гинтера в составе Центральной ТЭЦ ПАО «ТГК-1») на реке Фонтанке для сплошной теплофикации прилегающего района. ГЭС считалась убыточной, и её планировали закрыть, поэтому дипломная работа студента не просто спасла предприятие, но и согрела часть Петербурга. Эта дата считается началом теплофикации в России.



### Внедрение полиэтиленовых труб

В 1950-х годах наступает новый этап модернизации систем — появляются первые трубы из полиэтилена. Они были дешевле стальных труб, не ржавели, не зарастали внутри. Но у них был недостаток, который не давал перейти на полиэтиленовые трубы окончательно, — при температуре +50 °С материал начинал быстро изнашиваться и приходил в негодность.

Исправить ситуацию получилось только к 1980-м годам. Изменили состав материала и получили трубы из полиэтилена, устойчивые к высоким температурам и лучам ультрафиолета.

### Переход на пластиковые трубы

В конце 1990-х годов сталь начинают менять на полимерные трубы. Сначала переходят на металлопластиковые трубы, после в тренды выбивается полипропилен и сшитый полиэтилен. Но и у этих материалов были недостатки: у полипропилена — низкая рабочая температура и стойкость к агрессивным химическим веществам, у сшитого полиэтилена — высокая стоимость материала, фитингов и «боязнь» УФ-лучей.

Недостатки полипропилена и сшитого полиэтилена нивелировал РЕ-РТ II — полиэтилен повышенной термостойкости. Он недорогой, может работать при высоких температурах, легко монтируется, устойчив перед «химией». Европу материал покорила ещё в 1980 году, а на российский рынок пришёл лишь в 2010-х.

### Закат эры стальных труб. Чем сталь уступает новым материалам?

Строительство большинства инженерных сетей в России закончилось в 1980-е годы, причём они были сделаны преимущественно стальными. В 1990-е годы отечественную сферу ЖКХ никто не финансировал, и большинство теплоснабжающих компаний «латали дыры» — вместо полноценной замены участков изношенных трубопроводов ремонтировали локальные разрушения.

На тот момент такая система прижилась, поскольку качество советской стали было выше, чем сейчас, и трубы можно было не менять до 25 лет.

Однако стальные трубы не ушли с рынка до сих пор. У них много достоинств — они прочные, устойчивы к давлению и высоким температурам, имеют низкий коэффициент теплового расширения и в целом ассоциируются с «советским качеством». Сегодня заявленный срок службы стальных труб составляет 20–25 лет, но в реальных условиях они служат всего восемь-десять лет. Почему?

**Первая причина** — низкое качество продукции. Стальные трубы, отслужившие свой срок, обрабатывают «пескоструйкой» и продают под видом новых. Показательный случай произошёл несколько лет назад — установили стальную трубу, а через полтора года не смогли её найти под землёй, поскольку она сгнила до состояния «трухи».

Неправильно подобранная толщина стенки стальной трубы тоже влияет на срок службы трубопровода. Например, в обход технического задания устанавливают трубы с толщиной стенок не 8, а 6 или даже 4 мм.

**Вторая причина** — коррозия и отложения внутри. Коррозия истончает стенки металла, из-за чего происходят прорывы. Нужна внешняя обработка (окрашивание, антикоррозийное покрытие), чтобы замедлить процесс. Но внутри с ржавчиной ничего не поделаешь — со временем стенки труб становятся тоньше, и возникает риск разрыва.

Заращение внутренних стенок труб продуктами коррозии и отложениями уменьшает площадь поперечного сечения и снижает пропускную способность. Если напор будет большой, труба может не выдержать.

**Третья причина** — уязвимость стыков и соединений. Прогнивание резьбы не заметно внешне, из-за чего прорывов и подтоплений не избежать.

**Четвертая причина** — блуждающие токи, приводящие к электрохимической коррозии и интенсивно разрушающие сталь. Это особенно проявляется в крупных городах из-за обилия электрического транспорта, метро и т.д., которые создают электромагнитное поле вокруг себя. Ток может двигаться не только по кабелям и проводам, но и в земле вокруг трубы, поэтому и называется «блуждающим». Блуждающие токи буквально прожигают сталь, и на трубах появляются небольшие, но опасные отверстия.

Внешне на стали может не быть и налёта на повреждения или низкое каче-



•• Трубы из PE-RT II для систем теплоснабжения, помимо прочих высоких характеристик, выдерживают температуру до +95 °C

ство материала, однако, если упустить эти аспекты, менять трубы придётся очень скоро. А это траты на проектирование, материалы, монтаж и т.д.

Эти недостатки привели к тому, что в 1950-х годах начали разрабатывать альтернативные материалы для труб — полиэтилен, сшитый полиэтилен и PE-RT II. Сравним характеристики стальных труб с показателями одним из них — табл. 1.

**Революция в отоплении: как современные материалы для труб влияют на наш комфорт**

Завершение «стальной эры» и тренд на современные технологичные материалы трубопроводов — это не попытки сэкономить, а рациональный выбор, в котором выигрывают и обслуживающие компании, и конечный потребитель.

Для конечного потребителя переход на трубы из термостойкого пластика будет означать:

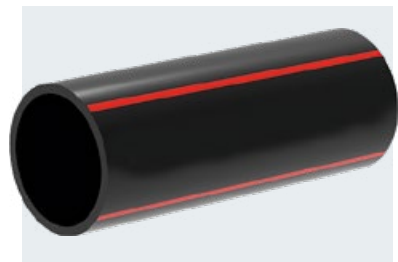
- 1. Уменьшение прорывов, поскольку такие трубы не подвержены коррозии.** Не всегда заметно, как ржавчина разрушает стальные трубы изнутри.
- 2. Снижение трат на ремонт.** Трубы из PE-RT II могут служить до 50 лет, стальные трубы из-за низкого качества служат фактически не более пять-десять лет. Большой срок службы означает меньшие траты на ремонт.

**3. Безопасность.** Трубы из термостойкого пластика нетоксичны и не содержат вредных веществ, что делает их безопасными для использования в системах питьевого водоснабжения.

**4. Снижение тарифов на тепло.** Сталь отдаёт много тепла при транспортировке теплоносителя, и конечный потребитель может переплачивать за тепло, которое ушло в пустоту.

Теплоснабжающие компании часто ограничены в выборе материалов и технологий бюджетом. Но, когда есть средства и время на поиск альтернативы, выбор делают в пользу технологий. Почему?

- 1. Термостойкий пластик легко адаптировать под сложные проекты:** трубы легче стальных труб и более гибкие, что упрощает их транспортировку и монтаж.
- 2. Стальные трубы соединяются сваркой или резьбовым соединением, которое ржавеет и становится неразъёмным.** Пластиковые легко собираются и разбираются многократно с помощью фитингов, что гораздо проще и удобнее.



**3. Пластиковые трубы требуют меньше обслуживания,** их можно установить и забыть про проблемы.

**4. Монтаж и демонтаж стальных труб — очень трудоёмкий процесс:** нужно электрическое оборудование для резки труб и подъёмные механизмы. Для монтажа пластиковых трубопроводов достаточно набора для сварки и несколько человек, чтобы перенести трубопровод.

**5. Пластиковые трубы, в частности из PE-RT II, соответствуют всем современным требованиям и стандартам ГОСТ.**

Устанавливать стальные трубы в современных коммуникациях — сложно, дорого и непрактично. Чаще всего замена «стали» на «сталь» связана с незнанием актуальных технологий и последних достижений в сфере теплофикации. Важно учитывать опыт и ошибки прошлых лет, а также последние достижения теплоснабжающей сферы, чтобы не менять и не ремонтировать инженерные сети каждый сезон. Компания PERTiX рекомендует использовать инновационные материалы для обновления теплосетей — так трубы будут меняться реже, и трат на модернизацию будет меньше. ●

•• Сравнение характеристик стальных и полимерных труб табл. 1

Показатель	Стальные трубы	PP	PE-X	PE-RT II
Теплопроводность, Вт/(м·К)	52	0,24	0,36	0,36
Рабочее давление, МПа	1,6	До 1	До 1	До 1
Шероховатость, мм	0,2–2,0	0,007	0,007	0,003
Коррозионная стойкость	Нет	Не склонны к коррозии	Не склонны к коррозии	Не склонны к коррозии
Влияние ультрафиолетового излучения (солнечного света)	Не подвержен	Требуют защиты	Требуют защиты	Требуют защиты
Температура, °C	До +150	До +80	До +95	До +95
Срок службы, лет	До 30 (фактически 5–10)	До 50	До 50	До 50





## Революция в инженерных коммуникациях: от стали к термостойкому полиэтилену. Мнение экспертов

От работы инженерных коммуникаций зависит удобство, здоровье и безопасность людей. Но трубы ржавеют и забиваются, отопительные системы теряют эффективность, а из крана всё чаще начинает течь «ржавая» вода. В этой статье мы расскажем, чем грозит несвоевременная замена труб, какие материалы и технологии существуют на рынке, рассмотрим проблемы, с которыми сталкиваются жилые дома из-за устаревших инженерных коммуникаций, а также пути их решения.

**Автор:** Фёдор РАДИН, генеральный директор компании PERTIX

### Что будет, если вовремя не менять инженерные коммуникации?

Построенные в середине прошлого века в нашей стране инженерные коммуникации выработали свой ресурс и не соответствуют современным требованиям.

Чем это грозит?

1. Регулярными прорывами труб.
2. Снижением напора.
3. Большими затратами на отопление, поскольку 80% трубопроводов в Российской Федерации стальные, а теплопотери у стали выше, чем у пластиковых труб [теплопроводность стали составляет 52 Вт/(м·К), теплопроводность PE-X и PE-RT II — 0,36 Вт/(м·К)].

Но менять трубы нужно не интуитивно, а после профессиональных гидравлических испытаний. Также важно исследовать образцы самой трубы.

Это понимают и государство, и управляющие компании. Поэтому они активно инвестируют средства в обновление инженерных коммуникаций — прежде всего трубопроводов.

Что это даст?

1. Тепловой комфорт в зданиях будет повышаться.
2. Аварий будет меньше.
3. Снизятся траты на отопление.



### Проблемы обновления инженерных коммуникаций в жилых комплексах

Итак, допустим, что соответствующая комиссия вынесла вердикт — трубы пора менять. Поставленная задача уходит к проектировщику или главному инженеру, и возникают вопросы, от которых зависит долговечность новых труб, спокойствие жильцов и бюджет проекта:

1. На что менять трубы, чтобы не пришлось ремонтировать их на следующий год и выслушивать претензии жильцов?
2. Как поменять/отремонтировать трубы быстро, чтобы сократить траты?
3. Что есть на рынке? Какие материалы и какого производителя выбрать?
4. Что сделать, чтобы система соответствовала госстандартам?
5. Какие трубы будут требовать меньше обслуживания?
6. Как уложить все изменения в бюджет?

В поисках ответов специалисты и проектировочные компании либо идут по прежнему пути установки трубопроводов из прежнего материала (который заведомо является проигрышным, поскольку уже привёл инженерные коммуникации в такое состояние), либо уделяют время поиску новых решений и на дистанции оказываются в выигрыше.

### По какому пути идут компании, и почему так делать не нужно

Рассмотрим несколько распространённых заведомо «проигрышных» стратегий, которым следуют проектировщики или главные инженеры:

**1. Устанавливают самые дешёвые трубы.** Переплачивать не хочется никому, но если в погоне за выгодой закрывать глаза на качество материалов, то трубы могут не прожить и года. На рынке много примеров, когда уже использованные стальные трубы очищают «пескоструйкой» и продают под видом новых — внешне они выглядят отлично, но выполнять свои функции смогут недолго.



**2. Устанавливают самые дорогие трубы.** Ориентир на «самое дорогое» тоже должен быть оправдан. Можно купить дорогие медные трубы и ждать, что они прослужат 80–100 лет, как обещают некоторые поставщики, но горе-монтажник не позволит планам сбыться. Оборудование для установки медных труб дорогое, с другими материалами медь не совместишь, нужны специальные фильтры для очищения теплоносителя от твёрдых частиц и защита от механических воздействий (трубы очень мягкие).

**3. Устанавливают те же самые трубы.** Иногда проектировщики идут по пути наименьшего сопротивления и выбирают устаревшие варианты, которые считались надёжными в советское время — стальные и чугунные трубы. Но недостатки этих материалов никто не отменял, а качество с советских времён сделало несколько шагов назад. Замена «стали» на «сталь» не означает модернизацию — все «болячки» сохраняются и напоминают о себе уже через несколько лет.

Главная ошибка компаний при обновлении инженерных коммуникаций — не-

достаток информации у инженеров «старой школы». Не все специалисты следят за обновлениями на мировом рынке, поэтому могут не знать о материалах и технологиях, которые нивелируют недостатки труб из стали, чугуна, меди и способны облегчить задачу проектировщикам и улучшить жизнь жильцов.

### Материалы для труб. Какие они бывают и в чём их преимущества?

О том, что стальным трубам нужна альтернатива, задумались ещё в 1950-х годах. Так появились полиэтиленовые трубы — они не ржавели, не зарастали внутри, не боялись блуждающих токов, были дешёвыми и легко монтировались. Но температуры выше +50°C были для них опасны — материал утрачивал прочность и начинал быстро изнашиваться.

Уже к концу столетия устойчивость к высоким температурам получилось повысить, и в 1990-х годах инженеры начинают присматриваться к полимерным трубам. На вершине эволюции термостойких материалов для труб сегодня — полипропилен, PE-X (сшитый полиэтилен) и PE-RT II (полиэтилен повышенной термостойкости).

Полипропилен устойчив к коррозии, имеет максимальную рабочую температуру до +20...+45°C (обычный) и до +95°C (армированный). Диаметр трубы до 160 мм. Большая вариативность соединительных фитингов и хорошая свариваемость, но сварка только «в раструб».



•• Трубы из PE-RT II активно применяются и в системах «тёплый пол»





Простота монтажа — ещё одно достоинство PE-RT II. Трубы могут свариваться между собой встык, с помощью фитингов, «в раструб» и т.д. Они бывают разных диаметров, что удобно при разработке нестандартных проектов. Материал прочный, но гибкий и пластичный, что в комбинации с большой вариативностью фитингов и методов соединений делает его практически универсальным и незаменимым.

Трубы из PE-RT II — гладкие внутри и имеют низкую шероховатость, за счёт чего устойчивы к гидроабразивному износу. Агрессивная внешняя среда и блуждающие токи такие трубы тоже не повредят, поэтому служат они долго.

Из минусов материала — заужение проходного сечения за счёт толстых сте-

PE-X (сшитый полиэтилен) тоже не боится коррозии, выдерживает до +95°C и обладает высокой химической стойкостью. Но боится воздействия излучения в ультрафиолетовом диапазоне и может работать с высоким давлением только при дополнительном армировании. Фитинги для него дорогие и только с подвижной гильзой.

В России используется в основном армированный PE-X, который соединяется с помощью пресс-муфт, поэтому нивелировать все недостатки стали на таких трубопроводах не получится. Как только поток воды встречается с металлом, скорость потока замедляется, а металл постепенно ржавеет изнутри. Это приводит к заужению прохода, увеличению давления и выводу трубопровода из строя.

Трубы PE-X удобно использовать для создания инженерных коммуникаций вне городских построек, где не требуется большого количества соединений. Кроме того, барабаны для бухт высотой по 5 м сложно раскрутить в городе.

Как и все «полиэтилены», PE-X не боится ржавчины, замерзания жидкости, не зарастает изнутри и не влияет на проходимость теплоносителя. Он стоит дороже обычного полипропилена, но дешевле меди и чугуна.

PE-RT II не страшна коррозия и лучи ультрафиолета, он выдерживает до +95°C (допустимо кратковременное повышение до 110°C), диаметр труб может достигать 630 мм. Большая вариативность соединительных фитингов и методов соединений (сварка встык, «в раструб», электросварные фитинги, НСПС, фланцы). Монтаж простой, что даёт высокая гибкость трубы и лёгкая свариваемость.

В сравнении с PE-X (сшитым полиэтиленом) PE-RT II не требует сшивания молекул, а значит, проще в производстве.



А чем проще производство, тем сложнее допустить ошибку и нарушить технологию. Также трубы из сшитого полиэтилена не могут после производства свариваться между собой и соединяются только механически с помощью пресс-фитингов.

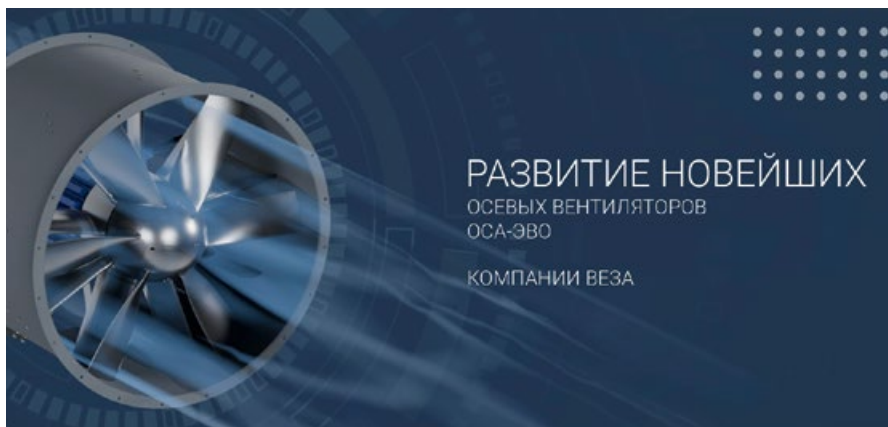
**PE-RT II не страшна коррозия и лучи ультрафиолета, он выдерживает температуру до +95°C (кратковременно допустимо повышение до 110°C), диаметр труб может достигать 630 мм. Большая вариативность соединительных фитингов и методов соединений (сварка встык, «в раструб», электросварные фитинги, НСПС, фланцы). Монтаж простой, что даёт высокая гибкость трубы и лёгкая свариваемость**

нок. Но этот минус можно нивелировать, взяв трубу большего диаметра (если позволяет проект).

Полный отказ от стали и переход на технологичные материалы — вопрос времени. Например, крупные теплоснабжающие компании («Т+», «Квадро», «Росатом» и т.д.) в технологической политике компании уже прописали, что для сетей ГВС нужно применять трубы из сшитого полиэтилена и PE-RT II.

Технологии модернизируются, и важно учитывать все актуальные изменения на рынке. PE-RT II — вершина эволюции материалов для инженерных коммуникаций на текущий момент. Компания PERTiX рекомендует выбирать трубы повышенной термостойкости: за рубежом на этот материал перешли давно, а в российских реалиях этому мешает шаблон якобы «советского качества» стальных труб. ●

КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ  
И ВЕНТИЛЯЦИЯ



## Непрерывное развитие новейших осевых вентиляторов ОСА-ЭВО компании «ВЕЗА»

Серия осевых вентиляторов ОСА-ЭВО от компании «ВЕЗА» продолжает превосходить ожидания отрасли, предлагая инновационные технические решения и высокую эффективность. Разработки последних лет, включая внедрение рабочих колёс большего диаметра и использование электронно-коммутируемых двигателей, открывают новые возможности для применения вентиляторов ОСА-ЭВО.

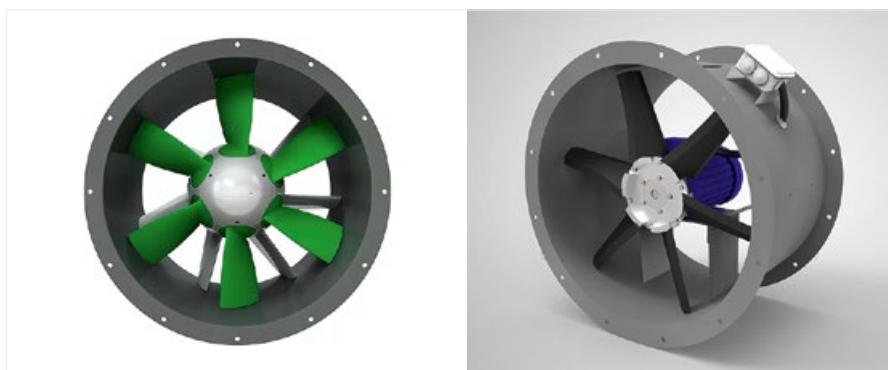
В 2011 году «ВЕЗА» вышла на российский рынок с революционной на тот момент серией вентиляторов ОСА-300/301 с наборными поворотными лопатками. Основными преимуществами новых вентиляторов была высочайшая точность геометрии корпуса и лопаток, изготовленных из алюминия и композита литьём под давлением. Хотя многие европейские и американские компании к тому времени предлагали аналогичные решения, на российском рынке масштабное производство полного цикла данных вентиляторов в начале 2010-х годов освоила только «ВЕЗА».

С течением времени всё больше российских компаний шли по следам компании «ВЕЗА» и переходили с лопаток, профилированных из листового металла, на композитные или алюминиевые. Пока остальные догоняли, «ВЕЗА» не останавливалась на достигнутом, а следовала вперёд по пути поиска более совершенных

аэродинамических решений для осевых вентиляторов. И к 2021 году «ВЕЗА» выпустила на рынок новую серию вентиляторов под общим названием ОСА-ЭВО как высокоэффективную альтернативу устоявшимся осевым вентиляторам серии ОСА-300/301.

Обо всех преимуществах нового семейства осевых вентиляторов ОСА-ЭВО мы подробно рассказали в [журнале СОК](#) в статье [\[1\]](#).

На начальном этапе развития вентиляторов линейки ОСА-ЭВО были освоены и поставлены на производство рабочие колёса с втулкой диаметром 280 мм. Это позволило предложить рынку осевые вентиляторы с расходом воздуха до 60 тыс. м<sup>3</sup>/ч и полным КПД до 86%, в то время как даже лучшие экземпляры иных серий осевых вентиляторов редко когда превышали 60% полного КПД. Что это означает для конечного потребителя?

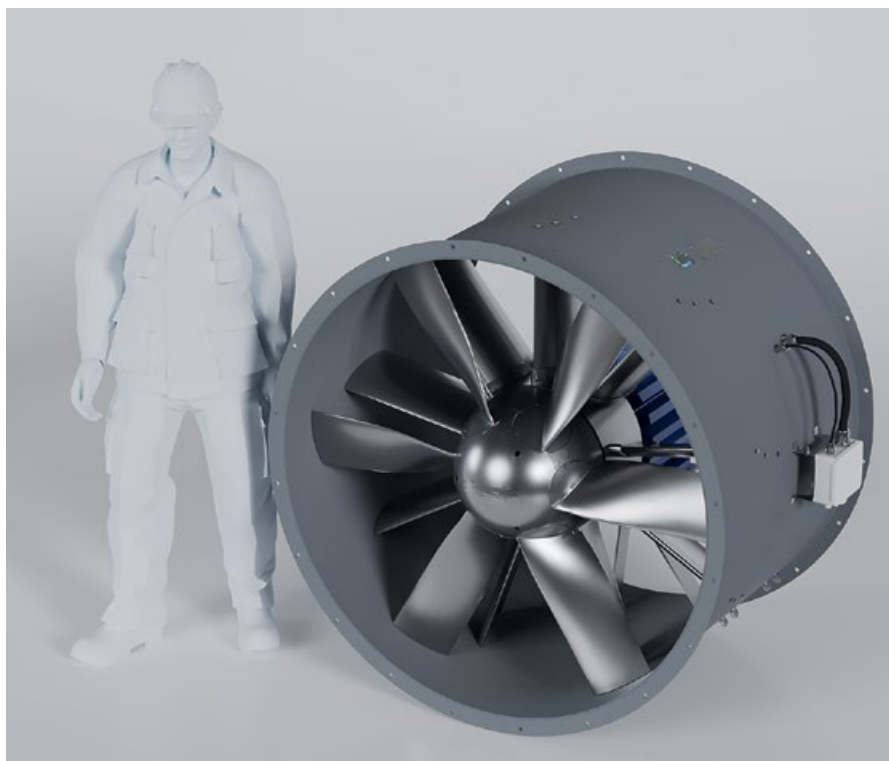


### Вентилятор нового поколения ОСА-ЭВО. Краткая справка

Вентилятор нового поколения ОСА-ЭВО (ЭВОлюция) имеет высокие показатели энергоэффективности и низкую шумовую нагрузку. Конструктивно вентилятор состоит из рабочего колеса с обтекаемой ступицей и изменяемым углом установки лопаток и спрямляющего аппарата. Применённые инновационные инженерно-конструктивные решения позволили специалистам компании «ВЕЗА» создать вентилятор с максимальным полным КПД до 85%. Диапазон расходов воздуха в зависимости от габарита колеса варьируется от 1500 до 60 тыс. м<sup>3</sup>/ч. Максимальное статическое давление, создаваемое вентилятором ОСА-ЭВО, доходит до 2000 Па. На данный момент компания «ВЕЗА» готова предложить своим клиентам широкую линейку вентиляторов с диаметром рабочих колёс от 450 до 900 мм с диаметром носового обтекателя 280 мм. Материал колеса и носового обтекателя, в зависимости от исполнения вентилятора, — специальный высокопрочный пластик или алюминий.

Автор: И.И. ШЕХОВЦОВ, заместитель технического директора ООО «ВЕЗА»





В первую очередь — выигрыш в установочной мощности двигателя вентилятора, что в долгосрочной перспективе приводит к снижению эксплуатационных расходов за счёт меньшего энергопотребления.

За два года производства вентиляторы ОСА-ЭВО увеличили свою долю в общем объёме осевых вентиляторов, производимых компанией «ВЕЗА», до 20 %.

В этой статье хочется рассказать о нескольких значимых новинках в линейке вентиляторов ОСА-ЭВО, которые появились в течение 2024 года.

Это в первую очередь освоение и введение в серию рабочих колёс с втулкой диаметром 460 мм. Аэродинамическая схема ОСА-ЭВО накладывает некоторые конструктивные ограничения на электродвигатель, габаритный размер которого не может быть больше диаметра втулки вентилятора, вследствие чего мы ограничены максимальной установочной мощностью 11 кВт для рабочего колеса с втулкой 280 мм. К тому же существенные ограни-

чения на диапазон применения вентиляторов накладывал максимально возможный диаметр рабочего колеса — 900 мм. Сейчас с втулкой диаметром 460 мм мы можем производить рабочие колёса диаметром до 1400 мм без реальных ограничений по габаритам используемых двигателей, что расширяет диапазон применения вентиляторов ОСА-ЭВО до 160 тыс. м<sup>3</sup>/ч.

Следующей, но не менее важной новинкой в семействе ОСА-ЭВО стала разработка модификации вентилятора с электронно-коммутируемым (ЕС) электродвигателем. Основными преимуществами ЕС-двигателей вместо обычных асинхронных моторов для вентиляторов ОСА-ЭВО являются меньшая длина корпуса оборудования, существенно более высокий КПД двигателя и наличие встроенного частотного преобразователя. Естественным ограничением для данного типа двигателей является относительно небольшая максимальная мощность устанавливаемых двигателей — до 5 кВт.

Следует отметить, что данное исполнение вентиляторов ОСА-ЭВО нашло широкое применение при строительстве современных дата-центров (ЦОД), где есть необходимость в создании высокой и равномерной подвижности воздуха при высокой удельной мощности. Как следствие, возникает потребность в системах с высоким уровнем энергетической эффективности и надёжности.

Ещё одним немаловажным нововведением линейки ОСА-ЭВО стало применение с 2023 года специального композитного материала VEZAmid при производстве пластиковых лопаток. VEZAmid — это современный композитный материал, аналога которого применяются в автомобильных бамперах, ударопрочных касках и во множестве других нагруженных деталей.



Прочность VEZAmid на разрыв сравнима с металлом и сохраняется при температурах от -50 до +90 °С, при этом объёмная плотность композита в разы ниже, чем у стали и алюминия, что резко повышает максимальные скорости вращения рабочих колёс вентиляторов.

VEZAmid устойчив к ультрафиолетовому излучению, воздействию углеводородов, минеральных и синтетических масел, концентрированных и слабых щелочей, что позволяет использовать композитные лопатки без ограничений в любых условиях.

В завершение хочется отметить, что ОСА-ЭВО — это перспективное семейство вентиляторов, которое непрерывно совершенствуется и дополняется новыми модификациями. Основной целью развития данной линейки вентиляторов является возможность предложить нашим клиентам продукт, безальтернативный по энергоэффективности, аэродинамическим, шумовым и вибрационным характеристикам относительно вентиляторов иных производителей. ●

### Компания «ВЕЗА». Справка

Компания «ВЕЗА» была основана в 1995 году и за 27 лет работы стала крупнейшей компанией на российском рынке промышленной и гражданской вентиляции и кондиционирования. На сегодняшний день «ВЕЗА» — это единственное в России предприятие полного технологического цикла производства вентиляционных агрегатов, холодильного оборудования, вентиляторов, воздушных и противопожарных клапанов, а также другой климатической техники. Компания «ВЕЗА» обладает собственной измерительной лабораторией (ЦИЛ), которая располагается на заводе «ВЕЗА-Фрязино» и предназначена для проведения приёмочных, доводочных, периодических, контрольных и других видов испытаний вентиляционного и холодильного оборудования. За годы упорной и честной работы «ВЕЗА» стала примером качественного российского производства и надёжного партнёра, поэтому компания с особой гордостью заявляет, что оборудование «ВЕЗА» сделано в России.

1. «ВЕЗА»: надёжность и качество — превыше всего // Журнал СОК, 2021. №12. С. 42–43.



## Анализ VRF-систем. Технология дополнительной подачи хладагента в компрессор (EVI)

Продолжаем серию статей, направленных на изучение технологий получения холода и тепла, которые используются в современном классе кондиционеров — VRF-системах. Сейчас мы рассмотрим применение технологии с дополнительной подачей хладагента в компрессор (EVI).

EVI (*Enhanced Vapor Injection*) — это технология подачи (впрыска) дополнительного количества хладагента в компрессор для увеличения его производительности.

Идея отопления зданий с помощью воздушного теплового насоса витает в воздухе уже давно. Первые кондиционеры с тепловым насосом появились в Японии и успешно обогревали дома в условиях японского климата при температуре до  $-10^{\circ}\text{C}$ . Однако даже у японцев бывают морозы до  $-20^{\circ}\text{C}$ , и стандартные тепловые насосы уже не справлялись с такими температурами. Поэтому в Японии были распространены наружные блоки кондиционеров с встроенными небольшими газовыми горелками для подогрева наружного блока в период «экстремальных» холодов. В первый раз автор увидел такой «дымящийся» наружный блок в Токио в далёком 2008 году и был сильно удивлён.

В дальнейшем переход на инверторные компрессоры и фреоны высокого давления увеличили температурный диапазон работы наружного блока до  $-20^{\circ}\text{C}$ . Это стало достаточно для Японии и Европы, но в России в большинстве городов морозы достигают  $-30^{\circ}\text{C}$  и ниже, поэтому использовать кондиционер в качестве основной системы отопления можно только совместно с дополнительным источником тепловой энергии (камин, pelletный котёл, электроконвекторы и т.д.). Такая схе-

ма получила название «бивалентной». Тем не менее, развитие теплонасосных технологий продолжилось, и современные VRF-системы могут эффективно работать в режиме обогрева при температуре уличного воздуха до  $-30^{\circ}\text{C}$ . Это произошло за счёт применения совершенно нового типа компрессоров с дополнительным впрыском хладагента, и данная технология получила название EVI.

Многие производители систем VRF (Midea, Mitsubishi Electric, LG и т.д.) анонсировали применение в своих новых системах EVI-технологии. Что это за технология, мы разберём чуть ниже, а для начала давайте поймём, зачем она нужна и почему стандартные инверторные компрессоры не могут обеспечить требуемую производительность.

**Первые кондиционеры с тепловым насосом появились в Японии и успешно обогревали дома при температуре до  $-10^{\circ}\text{C}$ . Переход на инверторные компрессоры и фреоны высокого давления увеличили температурный диапазон работы наружного блока до  $-20^{\circ}\text{C}$ . А современные VRF-системы могут эффективно работать в режиме обогрева при температуре до  $-30^{\circ}\text{C}$**





Источник: Skovrup M.J., Knudsen H.J.H. 03.03.2009 / Technical University of Denmark (DTU), Department of Energy Engineering

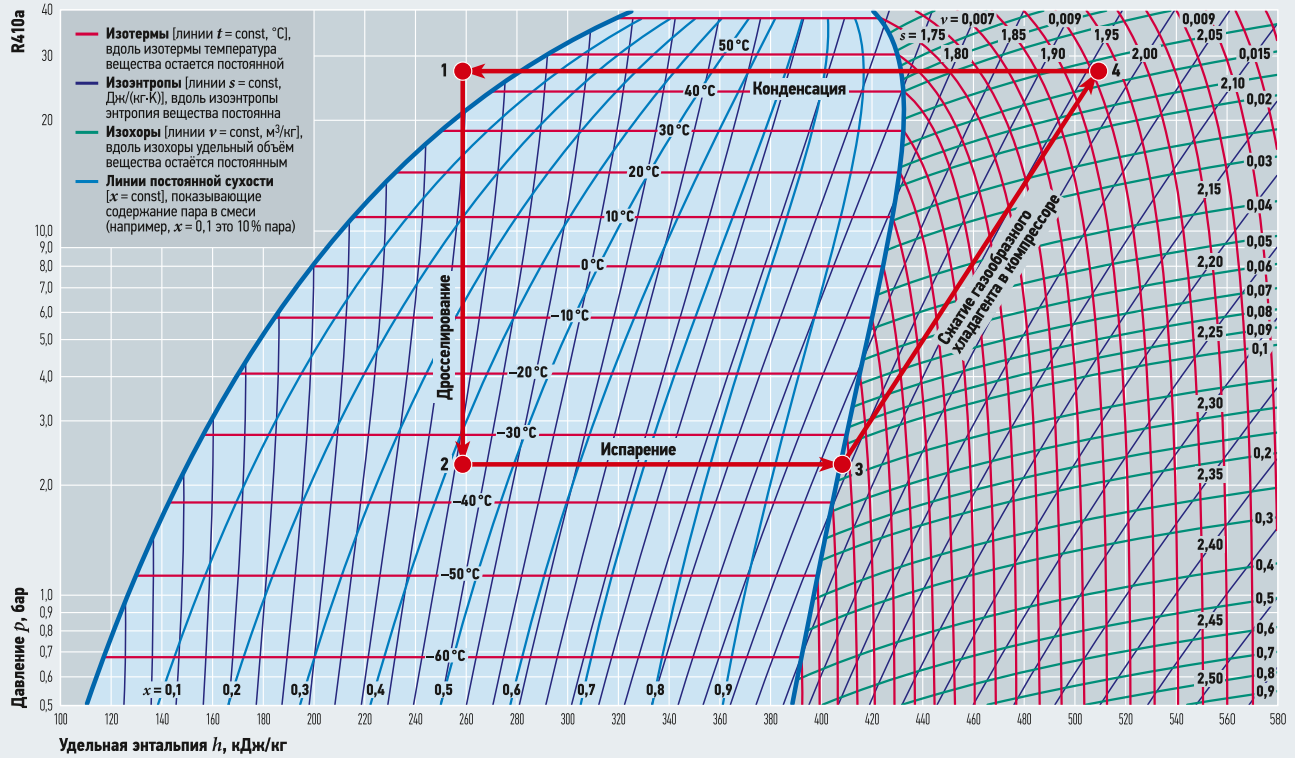


Рис. 1. Холодильный цикл VRF-системы в режиме обогрева без технологии EVI. Фреон R410a

Для чего нужна система кондиционирования? Изначально система кондиционирования разрабатывалась именно как система охлаждения внутреннего воздуха для достижения комфортных или технологических параметров. Далее в процессе развития кондиционер стал нести дополнительные функции, а именно обогрев, осушение или увлажнение, вентиляцию, очистку воздуха от пыли и т.д.

Однако первоначальная и основная функция системы кондиционирования — всё-таки охлаждение. Так вот, в режиме охлаждения стандартные параметры окружающей среды, согласно японским и европейским нормам, следующие: температура внутреннего воздуха — +27 °С, температура наружного воздуха — +35 °С. Для компрессора кондиционера важны в первую очередь температуры кипения и конденсации фреона, поэтому рассмотрим их тоже. Стандартная температура кипения — +5 °С, стандартная температура конденсации — +47 °С. В процессе реальной эксплуатации эти параметры могут немного отличаться, но незначительно. Итого стандартный перепад температур кипения и конденсации фреона в режиме охлаждения для обычного компрессора составляет примерно 40–50 °С.

Теперь давайте подумаем, что происходит с компрессором кондиционера, когда включается режим обогрева. С помощью четырёхходового клапана меняется

направление движения хладагента в системе, но компрессор продолжает работать в том же режиме, что и ранее (рис. 1).

В режиме обогрева стандартные температуры внутреннего воздуха +20 °С и наружного воздуха +7 °С, температуры кипения и конденсации хладагента, соответственно, –5 °С и +45 °С, итого перепад составит около 50 °С. Вроде бы не отличается от режима охлаждения. Но загвоздка в том, что диапазон наружных температур и температура испарения в режиме обогрева могут колебаться в гораздо больших пределах, чем в режиме охлаждения.



Например, при наружной температуре –20 °С температура кипения хладагента будет уже –35 °С, соответственно, перепад между температурами кипения и конденсации будет 80 °С, а это уже значительно выше, чем в режиме охлаждения. А если температура наружного воздуха будет ещё ниже, например, –30 °С, то разница температур кипения и конденсации окажется минимум 90 °С.

Следовательно, первый вывод, который мы должны сделать: компрессор кондиционера в режимах обогрева и охлаждения работает в разных условиях. В режиме обогрева значительно снижаются температура кипения хладагента и давление всасывания компрессора. Сниженное давление всасывания приводит к снижению производительности компрессора. Инверторный компрессор пытается поднять свою производительность путём увеличения частоты вращения, что увеличивает одновременно энергопотребление, уменьшает КПД сжатия хладагента, увеличивает перегрев компрессора. Компрессор охлаждается циркулирующим через него фреоном, поэтому при определённой температуре наружного воздуха количества хладагента на всасывании становится недостаточным для охлаждения компрессора, и он отключается по перегреву. Например, температура перегрева компрессора для системы Midea V5 составляет +115 °С.

Рассмотрим подробно, что происходит с хладагентом при работе обычной VRF-системы в режиме обогрева (рис. 1).

**Участок 1–2: дросселирование.** Жидкий хладагент после конденсатора внутреннего блока (точка 1: 45°C, 26,2 бар) возвращается в наружный блок. Перед испарителем происходит его дросселирование до необходимой температуры кипения (точка 2: –35°C, 1,22 бар). При температуре наружного воздуха –20°C температура кипения хладагента должна быть минимум –35°C. После дросселирования часть хладагента вскипает, что уменьшает производительность испарителя.

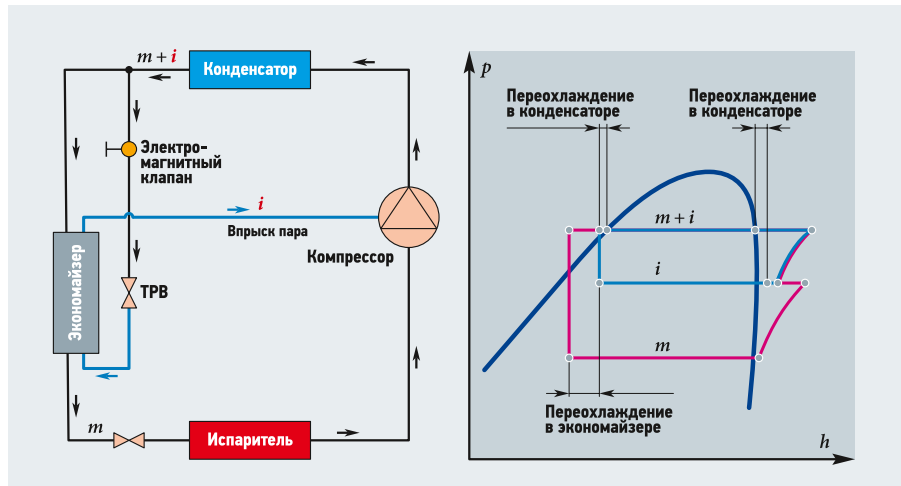
**Участок 2–3: испарение.** В точке 2 смесь жидкости и газа с температурой –35°C попадает в теплообменник наружного блока. Далее при постоянной температуре и давлении происходит кипение фреона и небольшой перегрев до температуры –30°C.

**Участок 3–4: сжатие газообразного хладагента в компрессоре.** Газообразный хладагент с температурой –30°C и давлением 1,22 бар попадает на всасывание компрессора, который практически на пределе своих возможностей при максимальной частоте вращения сжимает газообразный хладагент до давления 26,2 бар и максимальной температуры +115°C.

**Участок 4–1: конденсация.** Газообразный перегретый хладагент с температурой до 115°C поступает во внутренние блоки, работающие на обогрев. Там он сначала охлаждается до температуры конденсации 45°C, затем конденсируется при неизменной температуре, затем немного переохлаждается до 40°C.

Итак, мы выяснили, что основная проблема работы систем кондиционирования в режиме теплового насоса — это перегрев компрессора при низких наружных температурах. Ранее при больших перепадах температур испарения и конденсации использовались двухступенчатые холодильные машины с двумя разными холодильными контурами, работающими последовательно друг с другом. Автор сталкивался с такими установками для получения низкотемпературного холода.

Теперь мы возвращаемся к теме нашего сегодняшнего исследования — технологии EVI. Что можно сделать, чтобы снизить температуру хладагента на выходе из компрессора? Увеличить давление всасывания мы не можем, так как оно зависит от температуры кипения хладагента в наружном блоке. Вернуть часть перегретого хладагента после компрессора на всасывание теоретически возможно, но таким образом мы снизим производительность внутренних блоков по необходимому теплу, что нам совсем невыгодно.



•• Рис. 2. Принципиальная схема теплового насоса с EVI-компрессором и холодильный цикл на  $p$ - $h$ -диаграмме («давление — энтальпия»)

Схема уменьшения производительности компрессора наружного блока с помощью байпасирования нами подробно рассмотрена ранее на страницах [журнала СОК \[1\]](#). Но нам как раз нужен обратный процесс — увеличение производительности компрессора при низкой температуре.

Давайте ещё раз внимательно посмотрим на рис. 1. Длина линии 4–1, по сути, является эквивалентом полезной энергии, которую мы получаем на внутренних блоках. Уменьшать количество хладагента до точки 1 и длину этой линии мы не можем. Но мы можем без ущерба для производительности внутренних блоков забрать часть хладагента для охлаждения компрессора после точки 1, снизить температуру выходящих газов, увеличить количество циркулирующего хладагента

и, соответственно, повысить производительность компрессора по теплу. Первоначально производители так и поступили, были разработаны компрессоры для впрыска небольшого количества жидкого хладагента между спиралью компрессора. И цель защиты компрессора от перегрева была достигнута.

Но затем производители компрессоров решили пойти дальше. В наружном блоке у нас есть противоточный теплообменник для переохлаждения фреона в режиме охлаждения. В режиме обогрева мы можем использовать его для испарения охлаждающего хладагента и затем подачи его уже в виде газа на всасывание компрессора, экономя при этом энергию переохлаждения.

Итого технология EVI работает следующим образом (рис. 2).

После конденсатора (внутренние блоки в режиме обогрева) жидкий хладагент подаётся в наружный блок и делится на две части. Одна часть хладагента уходит на дополнительный терморегулирующий вентиль (ТРВ). После вентилля происходит дросселирование жидкого хладагента и его подача на противоточный теплообменник (экономайзер). В этом теплообменнике фреон докипает и отдаёт свою энергию основной части, поступающей далее на ТРВ и испаритель наружного блока (испаритель). Вскипевшая в экономайзере часть хладагента уходит на всасывание компрессора, который оснащён ещё одним входом и называется EVI-компрессором. Этот процесс происходит во время второй трети сжатия хладагента в спиральях компрессора.

После компрессора газообразный хладагент высокой температуры снова поступает на внутренние блоки (конденсатор), где конденсируется и отдаёт энергию конденсации. Цикл повторяется.

**Итак, основная проблема работы систем кондиционирования в режиме теплового насоса — это перегрев компрессора при низких наружных температурах. Что можно сделать, чтобы снизить температуру хладагента на выходе из компрессора?**





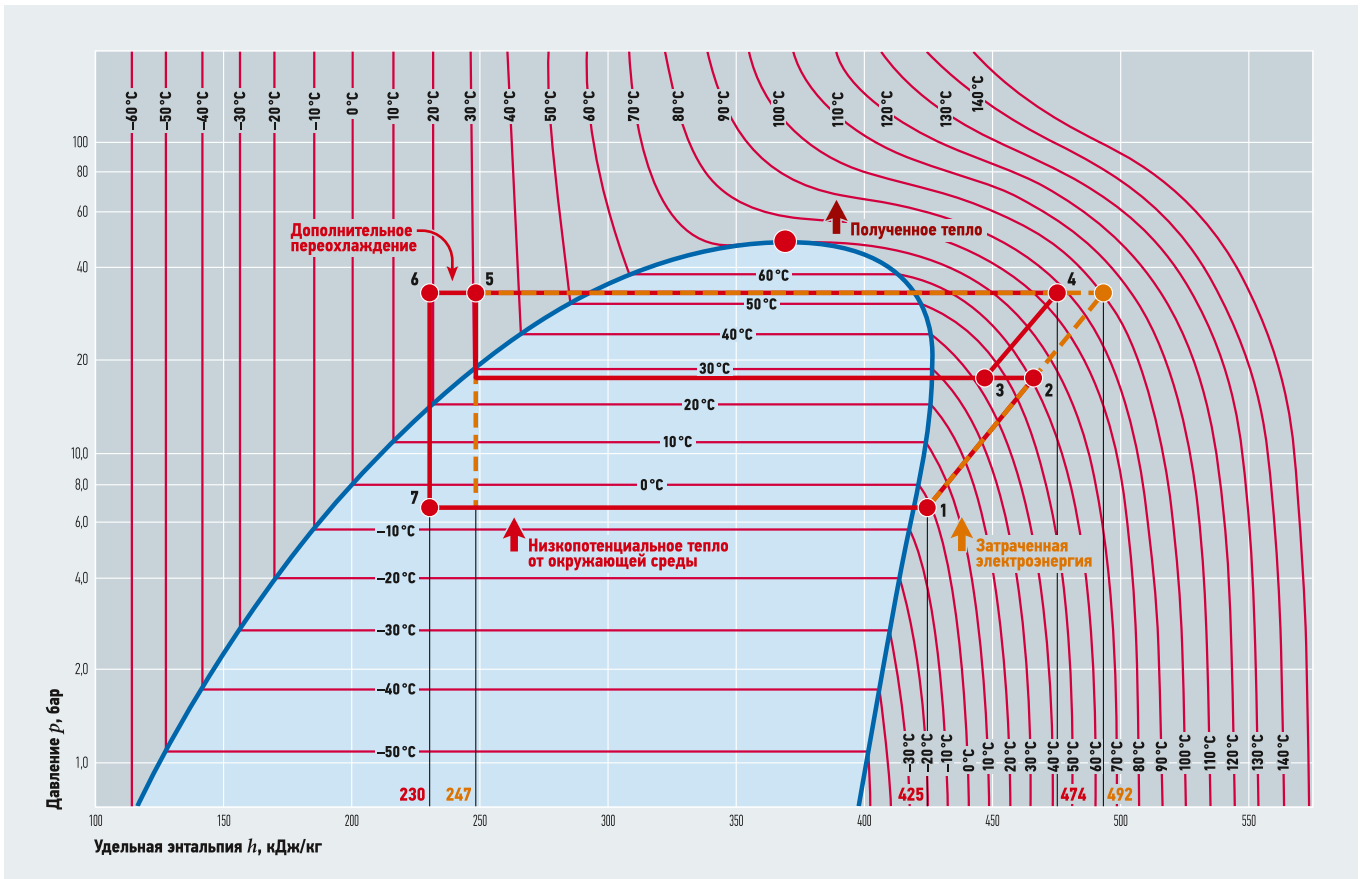


Рис. 3. Холодильный цикл VRF-системы в режиме обогрева с технологией EVI. Фреон R410a

В том случае, если температуры кипения и конденсации являются стандартными и не нужно глубокого охлаждения испарителя, компрессор EVI работает как обычный инверторный компрессор, впрыска дополнительного количества фреона не происходит.

Рассмотрим этот процесс подробнее на  $p-h$ -диаграмме («энтальпия — давление»), изображённой на рис. 3.

**Участок 4–5: процесс охлаждения газообразного хладагента и его конденсации во внутренних блоках.**

**Участок 5–6: процесс переохлаждения жидкого хладагента в дополнительном противоточном теплообменнике.** Энергия переохлаждения отдаётся вскипевшей части хладагента, который возвращается в компрессор и увеличивает его производительность на эту величину.

**Участок 6–7: процесс дросселирования жидкого хладагента, его частичное вскипание и понижение температуры.**

**Участок 7–1: процесс испарения паро-жидкостной смеси в теплообменнике наружного блока.** На рис. 3 видно, что длина линии 7–1 стала больше, что означает увеличение удельной энергоёмкости процесса испарения.

**Участок 1–2: процесс первой ступени сжатия газообразного хладагента в компрессоре.**

**Участок 2–3: процесс смешения основной части хладагента в компрессоре и вспомогательной части после теплообменника.** Температура хладагента в компрессоре понижается.

**Участок 3–4: процесс сжатия двух частей хладагента в компрессоре.** За счёт всасывания хладагента с большей плотностью производительность и энергопотребление компрессора растёт.

Какие выводы можно сделать, глядя на рис. 3? Следующие:

1. Впрыск дополнительного хладагента в компрессор позволяет значительно снизить температуру перегрева компрессора.

Даже при наружной температуре  $-30^{\circ}\text{C}$  температура хладагента на выходе компрессора составляет комфортные  $+90^{\circ}\text{C}$ . Напомню, что максимальная температура компрессора, при которой он отключится по перегреву, равна  $+115^{\circ}\text{C}$ .

2. За счёт впрыска дополнительного хладагента растёт производительность компрессора при низкой температуре (рис. 4). Однако энергопотребление компрессора также будет расти. Общая производительность теплового насоса вырастет за счёт увеличения энергии испарения (длина линии 7–1) и увеличения энергопотребления компрессора (линия 1–4).

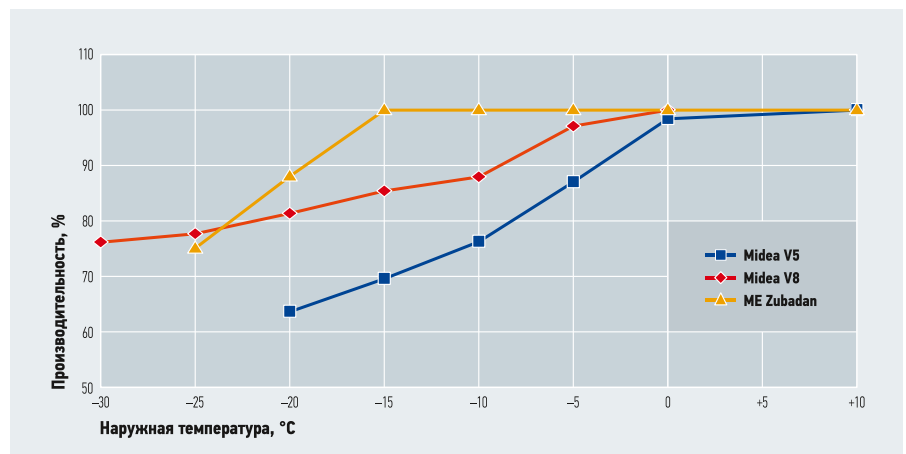
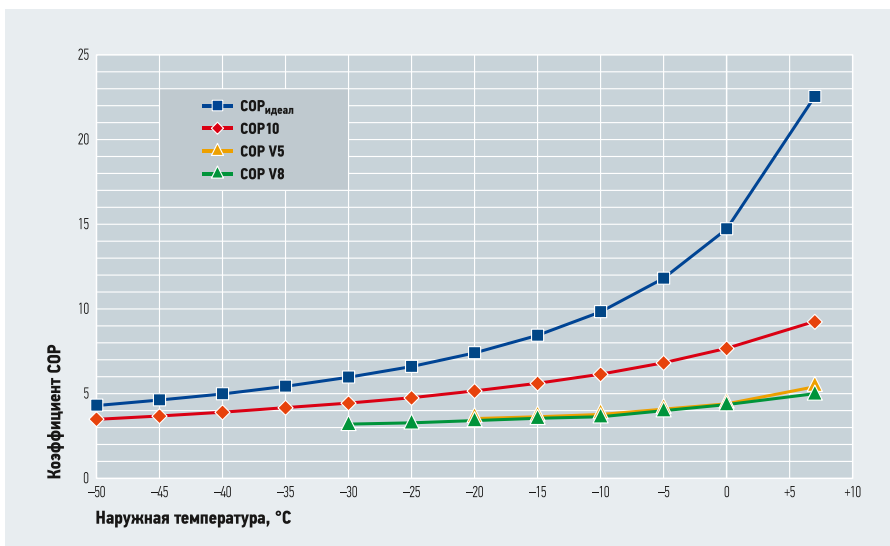


Рис. 4. Производительность наружных блоков VRF-систем в режиме обогрева



•• Рис. 5. Зависимости COP теоретических и реальных воздушных тепловых насосов

Теперь рассмотрим важный вопрос, связанный с энергоэффективностью воздушного теплового насоса и технологии EVI. В теории энергоэффективность, а именно показатель Coefficient of Performance (COP) компрессоров с впрыском дополнительного количества хладагента должен быть выше, чем обычных инверторных систем. За счёт чего должен повышаться COP? По факту мы видим два параллельных режима циркуляции хладагента: 1–2–3–4–6–7 — это основной режим (COP1), в котором перемещается большая часть хладагента, и кипение происходит при максимально низкой температуре; 3–4–5 — это дополнительное циркуляционное кольцо, где кипение происходит в испарителе дополнительного теплообменника при более высокой температуре (COP2):

$$COP1 = \frac{(H_4 - H_6)/(H_2 - H_1 + H_4 - H_3)}{=} = \frac{(474 - 230)/(492 - 425)}{=} = \frac{244}{67} = 3,64,$$

$$COP2 = \frac{(H_4 - H_5)/(H_4 - H_3)}{=} = \frac{(474 - 247)/(474 - 447)}{=} = \frac{227}{27} = 8,41.$$

Результирующий COP будет находиться между COP1 и COP2 в зависимости от величины расхода фреона в каждом процессе сжатия.

Для начала давайте определимся, а какой максимально возможный коэффициент COP мы можем достичь на некоем идеальном тепловом насосе. Как мы знаем, эффективность воздушного теплового насоса сильно зависит от температуры наружного воздуха, а точнее от разницы температур низкопотенциального источника тепла и высокопотенциального приёмника тепла. И чем больше эта разница температур, тем меньше эффективность воздушного теплового насоса. Если мы представим некую идеальную тепловую машину, в которой температуры кипения и конденсации фреона совпадают

### Эффективность воздушного теплового насоса сильно зависит от температуры наружного воздуха, а точнее от разницы температур низкопотенциального источника тепла и высокопотенциального приёмника тепла

с температурой наружного воздуха, испаритель и конденсатор обладают бесконечной большой площадью теплообмена, компрессор сжимает хладагент бесконечно медленно без потерь на турбулентность. Тогда максимально возможный COP представлен на рис. 5 синим цветом (COP<sub>идеал</sub>). При расчётной температуре наружного воздуха +7°C, внутреннего воздуха +20°C, максимально возможный COP равен 22,5 единиц. Это значит, что в теории мы можем получить 22,5 кВт тепловой энергии, затратив при этом всего 1 кВт электроэнергии. При температуре наружного воздуха -30°C максимально возможный COP составляет уже 5,8 единиц (рис. 5).

Теперь давайте представим тепловой насос уже ближе к реальности. Для обеспечения теплообмена между хладагентом и окружающей средой нам необходим тепловой напор минимум 10°C. То есть, если температура внутреннего воздуха +20°C, то нам нужна температура теплообменника хотя бы +30°C, чтобы за счёт теплопередачи обогреть внутренний воздух. И для наружного блока, наоборот, при наружной температуре -30°C нужна температура кипения хладагента -40°C, соответственно. Построим такой график (красная линия COP10 на рис. 5). Эффективность теплового насоса снизилась, но она составляет существенные 9,18 единиц при температуре наружного воздуха +7°C и 4,33 при температуре -30°C.







❖ Конструкция спиральных компрессоров с дополнительными отверстиями (показаны на правом фото) для подачи газообразного фреона среднего давления

И теперь мы обратим внимание на COP реальных тепловых насосов Midea VRF V5 (без технологии EVI) и Midea VRF V8 (с технологией EVI). Во-первых, период возможной эксплуатации у системы V8 расширен до  $-30^{\circ}\text{C}$  по сравнению с  $-20^{\circ}\text{C}$  в системе V5. Что в общем-то логично и вытекает из наших предыдущих объяснений. Но давайте посмотрим именно на энергоэффективность, а точнее на COP этих двух реальных VRF-систем. COP предыдущей системы V5 без технологии EVI выше, чем в новой системе V8. В теории технология EVI не только повышает производительность компрессора, но и должна увеличивать COP системы в целом, однако графики на рис. 5 доказывают обратное.

Почему COP наружных блоков с технологией EVI меньше, чем COP классических тепловых насосов.

1. На рис. 3 мы видим увеличенную длину линии испарения 7-1, чем объясняют увеличившуюся производительность испарителя наружного блока. Но по факту

на производительность также влияет количество циркуляционного хладагента, а оно стало меньше на величину части, ушедшей на дополнительный теплообменник. Соответственно, реального выигрыша энергии мы не получим.

2. Процесс сжатия хладагента в компрессоре 1-4 стал меньше, следовательно, разница энтальпий также уменьшилась. Но не нужно забывать, что общее количество

**При низкой температуре наружного воздуха производительность обычных инверторных компрессоров резко падает. Низкое давление всасывания компрессора приводит к высокой температуре хладагента на выходе и перегреву компрессора. Технология EVI позволяет увеличить производительность кондиционера на обогрев при низкой температуре наружного воздуха**

сжимаемого хладагента за счёт впрыска стало больше, следовательно, увеличилась и энергия, требуемая на сжатие этого хладагента.

3. За счёт впрыска дополнительного количества хладагента производительность системы растёт, но растёт также и количество энергии на сжатие хладагента. Особенность любого инверторного компрессора — это повышенный КПД именно на средних частотах вращения. Следовательно, если увеличивается производительность, то компрессор переходит в менее эффективную зону работы, потребляя чуть больше электроэнергии на привод компрессора. В конечном счёте эта энергия не теряется и остаётся в циркулирующем хладагенте, но, тем не менее, её требуется чуть больше.



### Выводы

1. При низкой температуре наружного воздуха производительность обычных инверторных компрессоров резко падает на 30–40% от номинальных значений.
2. Низкое давление всасывания компрессора приводит к высокой температуре хладагента на выходе и перегреву компрессора.
3. Технология EVI позволяет увеличить производительность кондиционера на обогрев при низкой температуре наружного воздуха.
4. При стандартных температурах наружного воздуха впрыска дополнительного хладагента не происходит, EVI компрессор работает как обычный инверторный компрессор. ●



1. Брух С.В. Анализ VRF-систем. Компонировка компрессорного узла // Журнал СОК, 2017. № 7. С. 52–55.
2. Холодильные спиральные компрессоры Copeland второго поколения. Серия EVI [Электр. текст]. Copeland; Emerson. Режим доступа: copeland.su. Дата обрац.: 10.05.2024.
3. Engineering Data V8 Series VRF. MDV Midea [Электр. текст]. Midea. Режим доступа: midea.com. Дата обрац.: 06.05.2024.
4. Engineering Data V5X Series VRF. MDV Midea [Электр. текст]. Midea. Режим доступа: midea.com. Дата обрац.: 07.05.2024.
5. Технические данные G7 City Multi Zubadan [Электр. текст]. Mitsubishi Electric. Режим доступа: mitsubishi-aircon.ru. Дата обрац.: 05.05.2024.

# Анализ перспектив развития термометров для применения в компактных ПВУ с роторным рекуператором

Рецензия эксперта на статью получена 10.06.2024 [The expert review of the article was received on June 10, 2024]

## 1. Наиболее распространённые схемы теплоснабжения зданий офисных назначений

Система теплоснабжения здания офисного назначения имеет несколько выделенных подсистем. Например, подсистема горячего водоснабжения (ГВС) предназначена для удовлетворения спроса потребителей в горячей воде. Подсистемы отопления и вентиляции предназначены в том числе для создания комфортного микроклимата в здании. В зависимости от архитектурных особенностей объекта доли теплотребления, затрачиваемые на нужды систем отопления и вентиляции, могут быть различными.

В случае применения в наружных стенах кирпичных или монолитных материалов, а также панелей ЖБИ с точки зрения технико-экономической целесообразности имеет смысл устанавливать настенные радиаторы, обеспечивающие от 50 до 90% тепловых притоков. При применении панорамного остекления навешивание радиаторов на стены становится невозможным. В таких случаях используются встраиваемые в пол конвекторы с принудительной конвекцией. Ввиду ограниченности площади теплообмена внутрипольных конвекторов недостаток теплопритока компенсируется за счёт системы вентиляции. В подобных схемах в здании через систему отопления может поступать 20–25% тепловой энергии, а через систему вентиляции — 75–80%.

Вентиляционные установки второго типа требуют обеспечения высокой точности

**Повышение энергетической эффективности в компактных ПВУ достигается путём применения роторных рекуператоров. Чувствительность к изменениям контролируемых параметров и высокая точность измерений обеспечивается за счёт применения улучшенных измерителей и алгоритмов обработки данных**

и низкой инерционности регулирования подачи тепловой энергии. Следовательно, автоматическая система регулирования и управления приточно-вытяжными установками (ПВУ) должна отвечать нескольким требованиям:

1. Энергетическая эффективностью
2. Достаточная чувствительность к изменению контролируемых параметров.
3. Достаточная точность измерений.
4. Возможность проведения прогнозных расчётов спроса на тепловую энергию с учётом изменений погодных показателей на несколько часов вперёд.

Повышение энергетической эффективности в компактных приточно-вытяжных установках достигается путём применения, например, роторного рекуператора. Соответствие пп. 2 и 3 достигается за счёт применения улучшенных измерителей и алгоритмов обработки данных. Проведение краткосрочных прогнозных расчётов может быть достигнуто за счёт формирования сценарных расчётных тепловых балансов.

УДК 621.1.016. Научная специальность: 2.1.3.

### Анализ перспектив развития термометров для применения в компактных приточно-вытяжных установках с роторным рекуператором

**С. В. Гузнов**, к.т.н., доцент, кафедра тепломассообменных процессов и установок (ТМПУ), Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ»); **А. А. Арбатский**, к.т.н., генеральный директор НИИ «Энергоэффективных технологий микроклимата»; **Е. А. Ушак**, студент, НИУ «МЭИ»; **А. О. Сорокина**, студент, НИУ «МЭИ»

Техническая целесообразность применения автоматизированных систем приточной вентиляции с рекуператором в зданиях офисного назначения является фактором, зависящим от нескольких составляющих. Помимо функциональных особенностей объекта важным является применяемый тип ограждающих конструкций. Здание с полностью светопрозрачными ограждающими конструкциями имеет существенно увеличенные тепловые и инфильтрационные потери. В статье приведён упрощённый подход по расчёту тепловых и инфильтрационных потерь для здания, расположенного в климатических условиях города Москвы. Показано, что наиболее важные для расчёта параметры измеряются с помощью термометров. Перечислены различные способы измерения температуры потока воздуха, пригодные для применения в компактных приточно-вытяжных установках с роторным рекуператором. На основе метода теории решения изобретательских задач показана комплексность и полнота применяемых методов измерения. Сделан вывод о достаточности методов измерения и о приоритетности при комплектации вентиляционных технико-экономических критериев.

**Ключевые слова:** общеобменная вентиляция, приточно-вытяжная установка, проектные характеристики, светопрозрачные ограждающие конструкции, тепловой баланс, тепловые потери, инфильтрационные потери, измерение температуры.

UDC 621.1.016. The number of scientific specialty: 2.1.3.

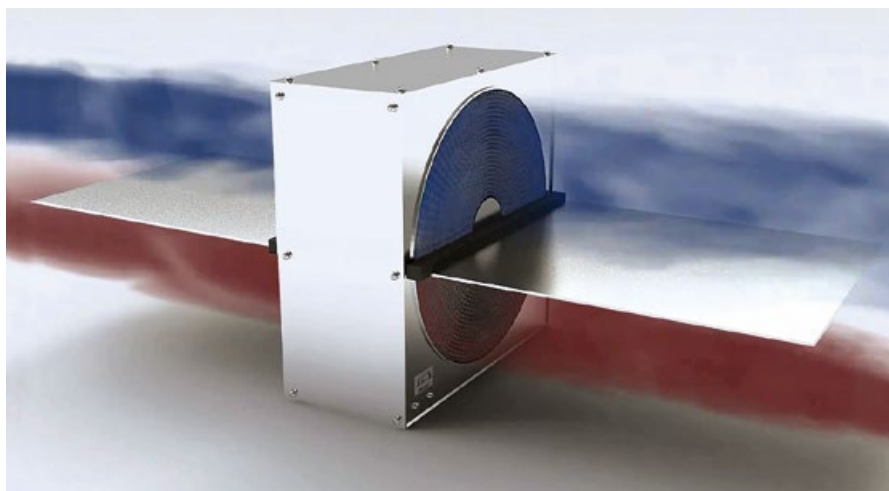
### Analysis of prospects for the development of thermometers for use in compact air handling units with a rotary heat exchanger

**S.V. Guzhov**, PhD, Associate Professor, the Department of Heat and Mass Transfer Processes and Installations (HMTPI), National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MPEI"); **A. A. Arbatsky**, PhD, General Director of the Research Institute of Energy-Efficient Technologies of Microclimate; **E. A. Ushak**, student, NRU "MPEI"; **A. O. Sorokina**, student, NRU "MPEI"

The technical feasibility of using automated supply ventilation systems with a recuperator in office buildings is a factor that depends on several components. In addition to the functional features of the object, the type of enclosing structures used is important. A building with completely translucent enclosing structures has significantly increased heat and infiltration losses compared to a building made of reinforced concrete or brick. The article presents a simplified approach to calculating heat and infiltration losses for a building located in the climatic conditions of Moscow. The simplicity of the calculations makes it possible to perform calculations with sufficient accuracy in conditions of incomplete information. It is shown that the most important parameters for calculation are measured using thermometers. Various methods for measuring air flow temperature suitable for use in compact air handling units with a rotary recuperator are listed. Based on the method of the theory of solving inventive problems, the complexity and completeness of the applied change methods is shown. A conclusion is drawn about the sufficiency of the measurement methods and the priority of technical and economic criteria when completing ventilation units.

**Keywords:** general ventilation, supply and exhaust unit, design characteristics, translucent enclosing structures, heat balance, heat losses, infiltration losses, temperature measurement.





## 2. Составляющие теплового баланса

Приточная вентиляционная установка является составляющей частью системы, обеспечивающей тепловой приток. Следовательно, система будет функционировать тем точнее, чем точнее будет прогноз тепловых потерь. К ним относятся потери через ограждающие конструкции (трансмиссионные) и инфильтрационные.

Трансмиссионные потери включают потери через светопрозрачные конструкции (окна), входную группу (двери), стены, кровлю, пол и фундамент. Инфильтрационные потери возможны через окна, входную группу (двери), ограждающие конструкции (с учётом ветровой нагрузки), систему естественной вентиляции.

Для случая фасадного остекления здания существенно возрастают потери через светопрозрачные ограждающие конструкции. Для численного определения потерь данного вида необходимо выявить тип окон, которым могут соответствовать термические сопротивления (табл. 1).

Расчёт тепловых потерь через окна также потребует исходных данных:

- число дверей  $n_{\text{окон}}$ , ед.;

- температура внутреннего воздуха —  $t_{\text{внутр.возд}}$ , °С;
- расчётная температура наружного воздуха —  $t_{\text{наружн.возд}}$ , °С;
- длина типового окна —  $l_{\text{окон}}$ , м;
- высота типового окна —  $h_{\text{окон}}$ , м;
- год установки окон  $T_{\text{окон}}$ , на основании которого вычисляются возраст окна и коэффициент старения.

Возраст окна рассчитывается как:

$$T = N - T_{\text{окон}}, \quad (1)$$

здесь  $T$  — возраст окна;  $N$  — текущий год.

Коэффициент старения  $k$  лежит в диапазоне [0; 1]. Если здание новое, то принимается  $k = 1$ , если зданию 40 лет и более, то  $k = 0,35$ , при возрасте здания 1–40 лет коэффициент определяется по формуле:

$$k = 1 - 0,0169 T. \quad (2)$$

Расчёт тепловых потерь производится по следующей формуле:

$$\Delta Q_{\text{окон.трансм}} = (t_{\text{внутр.возд}} - t_{\text{наружн.возд}}) \times (1 + 0,1) \times n_{\text{окон}} l_{\text{окон}} h_{\text{окон}} k \times (8,5984 \times 10^{-7} \times 24 \times 205) \times \frac{1}{R_{\text{окон}}}. \quad (3)$$

Для расчёта инфильтрационных потерь используется табл. 2 и формула:

$$Q_{\text{окон.инф}} = 1,005 \times 4000 \times 2,388 \times 10^{-7} \times (t_{\text{внутр.возд}} - t_{\text{наружн.возд}}) n_{\text{окон}} \times (2 l_{\text{окон}} + 2 h_{\text{окон}}) q_{\text{окон.инф}} a_{\text{окон.притвор}}. \quad (4)$$

В случае, если на рассматриваемом объекте существует несколько типов окон или окон с разной геометрией, либо окон различного возраста, то формулу (3) необходимо применять для каждого из типов окон с последующим суммированием результатов.

Очевидно, что для онлайн-мониторинга необходима в первую очередь информация о динамично изменяющихся значениях температуры внутреннего воздуха в помещении и температуры воздуха на улице у окна. Актуальным в данном случае является вопрос о применяемом способе измерения.

## 3. Способы измерения температуры воздуха для АСУ системы вентиляции

Существует достаточно развитое множество термометров для измерения температур жидкостей и газов. По принципу действия можно выделить, например, жидкостные термометры [1], работающие за счёт эффекта расширения или сжатия жидкости при разных температурах. Для применения в системах вентиляции в качестве жидкости пригодны спирт и ртуть. К недостатку жидкостных термометров можно отнести медленное реагирование на изменение температуры.

Газовые термометры [2] работают аналогично жидкостным, только средой выступают инертные газы, невидимые для человеческого глаза. К недостатку газовых термометров относится необходимость применения дополнительных механизмов для снятия показаний.

Жидкостные и газовые термометры можно отнести к манометрическим термометрам [3] (при наличии дополнительных механизмов), в которых датчик измеряет давление жидкости или газа в замкнутом пространстве.

Механический термометр [4] работает по принципу температурного расширения, но вместо воды используется пружина. Стандартный механический термометр может работать в диапазоне температур  $-30 \dots +60$  °С, однако этот диапазон напрямую зависит от материала и размера используемого чувствительного элемента.

Электрические термометры разделяют на термометры сопротивления [5] и термоэлектрические [6]. В термометрах сопротивления при изменении температуры изменяется активное сопротивление.

☞ Соответствие типа окна и его термического сопротивления

табл. 1

Тип	$R_{\text{дверь}}$ , м <sup>2</sup> ·°С/Вт
Деревянные окна с двойным остеклением	0,28
Стеклопакет 24 мм (4-16-4) в корпусе ПВХ	0,37
Стеклопакет 24 мм (4-16-4) в корпусе ПВХ, низкоэмиссионное покрытие	0,43
Стеклопакет 36 мм (4-10-4-14-4) в корпусе ПВХ	0,57
Стеклопакет 44 мм (4-12-4-20-4) в корпусе ПВХ	0,62
Стеклопакет 44 мм (4-12-4-20-4) в корпусе ПВХ, низкоэмиссионное покрытие	0,68

☞ Значение удельного теплового потока

табл. 2

Тип	$a_{\text{окон.притвор}}$	$q_{\text{окон.инф}}$ , кг/(ч·м)
Деревянные окна с двойным остеклением	0,50	5,6
Стеклопакет 24 мм (4-16-4) в корпусе ПВХ	0,33	3,8
Стеклопакет 24 мм (4-16-4) в корпусе ПВХ, низкоэмиссионное покрытие	0,33	3,8
Стеклопакет 36 мм (4-10-4-14-4) в корпусе ПВХ	0,33	2,0
Стеклопакет 44 мм (4-12-4-20-4) в корпусе ПВХ	0,33	2,0
Стеклопакет 44 мм (4-12-4-20-4) в корпусе ПВХ, низкоэмиссионное покрытие	0,33	2,0

К их преимуществам можно отнести:

- высокую точность измерений (обычно менее  $\pm 1^\circ\text{C}$ );
- возможность исключения влияния сопротивления линий связи на результат измерения при использовании трёх- или четырёхпроводной схемы измерений;
- практически линейная характеристика и пр.

Как недостатки следует рассматривать:

- относительной малый диапазон измерений (несущественный недостаток для систем общеобменной вентиляции);
- необходимость использования специальных схем подключения для обеспечения повышенной точности, что увеличивает стоимость внедрения;
- точность измерений может достигать до  $0,00013^\circ\text{C}$ , однако при существенно повышенной стоимости.

Принцип действия термоэлектрических термометров основан на свойстве металлов, сплавов и некоторых неметаллических материалов создавать термоэлектродвижущую силу при нагревании места соединения (спая) двух разнородных проводников или полупроводников. К существенному недостатку данного метода можно отнести небольшое значение создаваемой термо-ЭДС, что требует дополнительного усилителя.

Оптический термометр (пирометр) [7] измеряет инфракрасное излучение от объекта. По основному принципу действия различаются оптические и инфракрасные пирометры, работающие, соответственно, в спектре видимого света и инфракрасного излучения. Однако их применение в системах вентиляции нерационально ввиду повышенной стоимости и необходимости измерять не температуру поверхности, а температуру потока газа либо жидкости.

Помимо перечисленных выше распространённых видов термометров существуют и редко применяемые. Например, термометр Галилея [8], измеряющий температуру с помощью силы Архимеда и представляющий собой шарики разного объёма и массы, погружённые в сосуд с жидкостью. При изменении температуры (следовательно, и плотности) воды шарики изменяют глубину своего погружения. Данный способ измерения неприемлем в системах вентиляции.

С точки зрения теории и практики инженерного эксперимента выделяют несколько доступных к применению физических и химических принципов. Для области энергетики — это тепло, холод, электричество, магнитное поле, звук, вибрация, свет, ядерные силы, гравитация, кинетическая энергия, сила Архимеда, сила упругости пружины или иного упру-



•• Рис. 1. Физико-химические принципы измерения температуры, доступные для применения в компактных приточно-вытяжных установках с роторным рекуператором

гого элемента, гидро- и пневмомеханический, химический, биологический и пр.

Каждый из перечисленных принципов может быть применён для функционирования термометров и расходомеров, применяемых в компактных приточно-вытяжных установках с роторным рекуператором. На основе доступных принципов действия составлена диаграмма полноты их использования (рис. 1).

На основе представленной классификации можно сделать вывод: в настоящее время использованы не все возможные принципы. Например, возможно использование биолюминесценции, то есть организмов, меняющих окрас от температуры окружающей среды, что для применения в установках вентиляции непрактично.

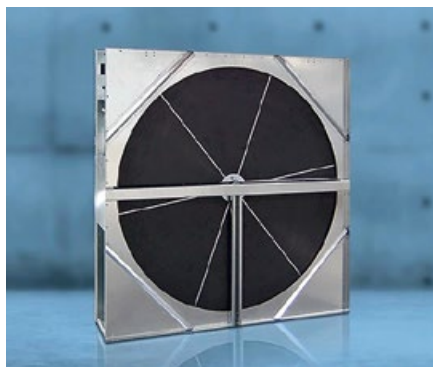
Химический принцип также возможно использовать как основу молекулярного термометра [9], работающего с веществами, между которыми проходит обратимая реакция. При изменении температуры воздуха начинает преобладать один из двух процессов — прямой или обратный, и так можно отследить изменение температуры. Ограничением будут служить чувствительность химической реакции к изменению температуры и, соответственно, скорость протекания этой реакции.

Также ведутся разработки для использования термощумового термометра [10]. Принцип его действия основан на зависимости скорости распространения зву-

ковых волн от температуры и плотности среды. Термощумовой термометр в теории мог бы подойти для измерения температуры в системах вентиляции.

Существуют также термометры, основанные на зависимости квадрупольного ядерного резонанса [11] от температуры. Однако квадрупольные термометры предназначены в основном для измерения сверхнизких температур.

Итак, можно сделать вывод о максимальной полноте физических принципов, используемых в настоящее время в компактных приточно-вытяжных установках с роторным рекуператором для измерения температуры воздушного потока и температуры жидкости. Главными критериями при выборе типов датчиков температуры будут технико-экономические параметры: компактность, удобство эксплуатации, долговечность, цена. ●



1. Принцип работы жидкостного термометра [Электр. текст]. ООО «Промснаб» от 28.02.2019. Режим доступа: prom-snab.ru. Дата обрац.: 10.06.2024.
2. Газовый термометр [Электр. текст]. «Рувики». Режим доступа: ru.ruwiki.ru. Дата обрац.: 10.06.2024.
3. Устройство манометрических термометров [Электр. текст]. «Термаркет». Режим доступа: thermarket.ru. Дата обрац.: 10.06.2024.
4. Механический термометр [Электр. текст]. «Строй-Подсказка.ру». Режим доступа: stroy-podskazka.ru. Дата обрац.: 10.06.2024.
5. Термометры сопротивления [Электр. текст]. «Строй-Подсказка.ру». Режим доступа: stroy-podskazka.ru. Дата обрац.: 10.06.2024.
6. Принцип работы термоэлектрического термометра [Электр. текст]. «Студопедия» от 10.06.2015. Режим доступа: studopedia.ru. Дата обрац.: 10.06.2024.
7. Виды и принцип действия пирометров [Электр. текст]. GEON. Режим доступа: geon.ru. Дата обрац.: 10.06.2024.
8. Термометр Галилея: история и принцип действия [Электр. текст]. «Академия Криофрост». Режим доступа: krioifrost.academy. Дата обрац.: 10.06.2024.
9. Молекулярный термометр [Электр. текст]. «Коммерсант» от 17.08.2022. Режим доступа: kommersant.ru. Дата обрац.: 10.06.2024.
10. Термощумовой метод измерения температуры [Электр. текст]. «Киберпедия» от 09.10.2017. Режим доступа: cyberpedia.su. Дата обрац.: 10.06.2024.
11. Термометр термощумовой [Электр. текст]. «Энциклопедия по машиностроению». Режим доступа: mash-xxl.info. Дата обрац.: 10.06.2024.

References — see page 79.



# О прогнозировании спроса на тепловую энергию системой приточной вентиляции

Рецензия эксперта на статью получена 26.04.2024 [The expert review of the article was received on April 26, 2024]

## Целесообразность применения прогнозного теплопотребления при настройке систем общеобменной вентиляции

Система вентиляции здания является одной из подсистем системы теплоснабжения. Система приточной вентиляции включает элементы подогрева и увлажнения приточного воздуха. Калорифер получает тепловую энергию от автоматизированного индивидуального теплового пункта (АИТП) объекта. Основным элементом АИТП является электронный регулятор — это устройство следит за параметрами теплоносителя в подсистемах. На основе этих данных вырабатываются управляющие команды.

Основным контролируемым параметром в тепловом пункте является температура «прямой» сетевой воды. Регулятор АИТП, как правило, представляет собой часть простой одноконтурной автоматизированной системы регулирования (АСР), которая работает с существенными запаздываниями. Часто реализуют так называемое «погодозависимое регулирование», где применяется АСР с компенсацией «возмущения», в качестве которого выступает температура наружного воздуха.

Автоматизированная система регулирования теплового пункта должна решать следующие задачи:

- поддержание оптимальной температуры теплоносителя;
- минимизация энергопотребления;
- учёт тепловой энергии;
- дистанционное управление и диспетчеризация.

В целях определения основных соотношений между расходами и температурами теплоносителя в системе отопления здания, а также параметров здания как объекта управления исследуется система отопления с зависимым присоединением к источнику тепла на основе автоматизированного теплового пункта.

Для повышения эффективности системы автоматизации каждой подсистемы должна опираться не только на температуру теплоносителя в «обратном» трубопроводе, но и выполнять расчёты спроса в зависимости от условий функционирования объекта. В этой статье рассмотрены особенности расчёта теплового баланса здания школы и возможности прогнозирования спроса на тепловую энергию.

## Выбор схемы ИТП

Тепловая нагрузка потребителей значительно изменяется в зависимости от времени суток, погодных условий, тепловлажностных режимов отапливаемых помещений, режима работы оборудования и других факторов. Для обеспечения эффективной работы системы необходимо осуществлять её регулирование на основе принципа связности. При несвязном варианте регулируется каждая нагрузка в отдельности с учётом неравномерности потребления, на абонентские вводы подаётся требуемое в данный момент количество теплоты. При связном регулировании регулируется условная суммарная нагрузка исходя из средней величины потребления по каждой нагрузке (с запасом и без учёта неравномерности потребления).

УДК 621.1.016. Научная специальность: 2.1.3.

### О прогнозировании спроса на тепловую энергию системой приточной вентиляции посредством применения упрощённого детерминированного подхода

**С. В. Гужов**, к.т.н., доцент, кафедра теплообменных процессов и установок (ТМПУ), Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ»); **А. А. Арбатский**, к.т.н., генеральный директор НИИ «Энергоэффективных технологий микроклимата»; **Е. В. Крылова**, к.п.н., доцент, заместитель директора по учебной работе Института тепловой и атомной энергетики (ИТАЭ) НИУ «МЭИ»; **А. О. Сорокина**, студент, НИУ «МЭИ»

Настройка автоматизированных систем общеобменной вентиляции для зданий типовой застройки является процессом, требующим дополнительного внимания в процессе эксплуатации. В статье описаны результаты разработки программного обеспечения для определения прогнозного спроса на тепловую энергию объектами массового строительства в городе Москве. Описан реализованный подход по применению детерминированного метода на основе СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», а также подход на основе применения нейронных сетей. Рассмотрен пример выполнения прогноза с помощью реализованного онлайн программного продукта для схемы теплоснабжения на примере типового здания школы в Москве. Рассчитанные показатели соответствуют полученным экспертными оценкам. Успешно выполнено тестирование ПО и рассмотрен пример расчёта теплового баланса на имеющихся реальных данных по зданию школы типового проекта 65-426/1 в Москве.

**Ключевые слова:** общеобменная вентиляция, здание типовой застройки, проектные характеристики, прогнозирование, тепловой баланс, тепловые потери, отопительный период, нейронная сеть.

UDC 621.1.016. The number of scientific specialty: 2.1.3.

### On forecasting the demand for thermal energy by a supply ventilation system using a simplified deterministic approach

**S. V. Guzhov**, PhD, Associate Professor, the Department of Heat and Mass Transfer Processes and Installations (HMTPI), National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MPEI"); **A. A. Arbatsky**, PhD, General Director of the Research Institute of Energy-Efficient Technologies of Microclimate; **E. V. Krylova**, PhD, Associate Professor, Deputy Director for Academic Affairs of the Institute of Thermal and Nuclear Energy (ITNE) of NRU "MPEI"; **A. O. Sorokina**, student, NRU "MPEI"

Setting up automated general ventilation systems for standard buildings is a process that requires additional attention during operation. The article describes the results of software development for determining the projected demand for thermal energy by mass construction facilities in Moscow. The implemented approach to the application of a deterministic method based on the Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 50.13330.2012 "Thermal protection of buildings", as well as an approach based on the use of neural networks, is described. An example of making a forecast using an implemented online software product for a heat supply scheme is considered on the example of a typical school building in Moscow. The calculated indicators correspond to the expert estimates obtained. Software testing was successfully performed and an example of calculating the thermal balance based on available real data on a school building of a typical project No. 65-426/1 in Moscow was considered.

**Keywords:** general ventilation, standard building, design characteristics, forecasting, heat balance, heat losses, heating period, neural network.

Центральные тепловые пункты по типу работы подразделяют на два типа. **Независимые** — такие схемы подключения теплового пункта характеризуются экономической выгодой (до 40%), так как в них между оборудованием конечных потребителей и источником тепловой энергии установлены теплообменники тепловых пунктов, которые регулируют количество подаваемого тепла, а также их неоспоримым преимуществом является повышение качества подаваемой воды. **Зависимые** — теплоноситель из теплосетей попадает непосредственно в систему отопления. Такая система достаточно проста (отсутствует необходимость установки дополнительного оборудования). Но данная особенность ведёт к важному недостатку, а именно к невозможности регулирования подачи тепла потребителю.

Методы регулирования систем централизованного теплоснабжения:

**1. Качественный** — регулирование отпуски теплоты осуществляется за счёт изменения температуры теплоносителя, поступающего в систему отопления здания. Недостатки метода:

- повышенный температурный график для компенсации отбора воды на ГВС;
- колебания температуры воздуха в помещении, связанные с влиянием нагрузки ГВС на работу систем отопления и различным соотношением нагрузок ГВС и отопления у потребителей;
- большая тепловая инерционность регулирования тепловой нагрузки;
- снижение качества теплоснабжения при регулировании температуры сетевой воды по средней за несколько часов температуре наружного воздуха и пр.

**2. Количественный** — регулирование отпуски теплоты осуществляется посредством изменения расхода теплоносителя, подаваемого к потребителю. Для зависимых схем с элеваторным смещением может привести к разрегулировке отопительных систем вследствие возрастания гравитационного перепада, возникающего из-за увеличения разности температур воды в радиаторах при снижении её расхода.

**3. Качественно-количественный** — регулирование осуществляется за счёт одновременного изменения расхода и температуры теплоносителя.

Применение системы автоматизации ИТП позволяет повысить подачу тепловой энергии в объект на основе несвязного качественно-количественного регулирования. Дополнительное применение алгоритмов прогнозирования позволяет:

- улучшить экологические показатели объекта за счёт снижения величины теплового загрязнения;

•• Набор параметров для типового объекта школа тип «Самолёт». 2020 год

табл. 1

№	Наименование	Значение	№	Наименование	Значение
1	Этажность здания	3	14	Дата установки окон	01.08.2012
2	Длина здания, м	82	15	Число дверей	82
3	Ширина здания, м	16	16	Длина типовой двери, м	0,8
4	Длина стен на одном этаже, м	388	17	Высота типовой входной двери, м	2
5	Высота стен на одном этаже, м	4	18	Высота подвала, м	2,8
6	Температура внутр. воздуха, °С	22	19	Число шкафов	170
7	Температура наружн. воздуха, °С	-20	20	Число диванов	4
8	Дата постройки	01.08.1980	21	Число столов	714
9	Количество помещений с раковинами на этаже	4	22	Число навесных шкафчиков	136
10	Дата установки дверей	01.08.2012	23	Макс. число посетителей-мужчин	5
11	Число окон в здании	258	24	Макс. число посетителей-женщин	25
12	Длина типового окна, м	1,46	25	Среднее время пребывания посетителей в сутки	0,9
13	Высота типового окна, м	1,8			

- повысить точность регулирования нагрузок подсистем системы теплоснабжения здания;
- повысить энергетическую эффективность объекта;
- снизить объём потребления тепловой энергии и оптимизировать затраты на теплоснабжение.

**Тестирование упрощённого детерминированного подхода**

Исследуемым объектом является школа в городе Москве, построенная по типовому проекту 65-426/1. Для выполнения детерминированного расчёта использовался существующий СП 50.13330.2012 [1], разработанный с целью повышения уровня безопасности людей и сохранности материальных ценностей в зданиях.

Минимально необходимый набор исходных данных [2] по объекту приведён в табл. 1.

Расчёт производится для отопительного сезона 2021/2022 [3]. База данных включает получасовые значения следующих климатических показателей [4]:

- температура наружного воздуха [°С] на высоте 2 м над поверхностью земли;
- атмосферное давление [мм рт. ст.], приведённое к среднему уровню моря;
- относительная влажность наружного воздуха [%] на высоте 2 м над поверхностью земли;
- направление ветра [угол] на высоте 10–12 м над земной поверхностью, осреднённое за десятиминутный период, непосредственно предшествовавший сроку наблюдения;
- скорость ветра [м/с] на высоте 10–12 м над земной поверхностью, также осреднённая за десятиминутный период, непосредственно предшествовавший сроку наблюдения;
- процент «заоблачности» небосвода.

Также в число анализируемых данных включены значение дня (рабочий или выходной день) и длительность пребывания мужчин, женщин и детей.

Имеющиеся данные содержат недостатки: часть наблюдений не является полной, а каждое наблюдение содержит параметры за тот же месяц, что и значение теплотребления, которое должно быть спрогнозировано. Это создаёт противоречие с поставленной задачей: не имеет смысла прогнозировать потребление за уже прошедший месяц. В связи с этим следует провести отдельный этап предобработки данных, в ходе которого данные будут приведены к виду, при котором каждое наблюдение будет описывать ситуацию, подходящую для обучения с учителем. То есть новые наблюдения должны содержать данные за прошлый месяц, которые уже известны и сняты, а значение теплотребления, которое можно спрогнозировать, должно определяться за текущий месяц.

В ходе данного преобразования неизменно будут потеряны данные по каждой из школ: первый месяц наблюдений не будет рассматриваться, так как в этот месяц неизвестно значение показателей за предшествующий месяц; последний месяц будет рассматриваться, однако показатели за него не смогут перейти в следующий месяц. После выполнение преобразования набор содержит 1663 наблюдения, из которых 1603 указаны как обучающие, а 60 — как тестовые. Результаты расчёта приведены в табл. 2.

Анализ полносвязных моделей показывает, что оптимальными являются конфигурации моделей с тремя скрытыми слоями: они достигают лучших результатов, при этом не проигрывая во времени более простым моделям с меньшим числом скрытых слоев [5].



Результаты детерминированного и стохастического расчёта составляющих теплового баланса\*. 2020 год

табл. 2

№	Рассчитываемая величина	Блок детерминированных расчётов	Блок нейросетевого расчёта
1	Трансмиссионные потери через окна, Гкал	174,825	175,699
2	Инфильтрационные потери через окна, Гкал	82,503	88,744
3	Трансмиссионные потери через входную группу, Гкал	122,847	124,690
4	Инфильтрационные потери через входную группу, Гкал	81,981	88,220
5	Теплопотери посредством теплопроводности через ограждающие конструкции, Гкал	229,958	235,707
6	Теплопотери посредством теплопроводности через кровлю, Гкал	304,598	327,854
7	Теплопотери посредством теплопроводности через пол, Гкал	213,715	221,195
8	Теплопотери через системы вентиляции, Гкал	2052,812	2209,647
9	Теплопритоки от людей, Гкал	214,032	223,663
10	Теплопритоки от неизолированных труб системы ГВС рукоомойников, Гкал	91,728	98,722
11	Теплопритоки от неизолированных труб системы ГВС душевых, Гкал	509,418	537,436
12	Теплоприток от систем электроосвещения и силового электроснабжения, Гкал	10,647	11,455
13	Теплоприток от неизолированных трубопроводов ГВС, Гкал	26,754	28,493
14	Теплоприток от неизолированных трубопроводов отопления, Гкал	93,366	100,401

\* Для типового объекта школа тип «Самолёт».

Характеристики лучших моделей, обученных на наборе данных с сдвигом, удалением и стандартизированной оценкой

табл. 3

Модель	Время обучения, с	Эпохи	Batch	MAE обуч.	MSE обуч.	MAE валид.	MSE валид.	MAE тест.	MSE тест.
MLP-d32relu-d32relu-mse-8	40,17	238	64	20,57	1185,27	16,26	911,17	15,63	706,81
MLP-d512relu-d32relu-d32relu-mse-8	24,37	96	64	18,94	1029,07	16,63	979,67	14,90	672,94

Использование различного объёма пакетов в целом не даёт значительных отличий в рамках отдельной модели, однако именно те модели, которые были обучены с использованием пакетов объёмом 64, дали лучшие результаты с точки зрения валидационного и тестового множеств, если принимать во внимание показатель средней квадратичной ошибки (Mean Squared Error, MSE), играющий роль функции потерь. Использована классическая искусственная нейронная сеть — многослойный перцептрон (Multilayered Perceptron, MLP).

Характеристики двух моделей — MLP-d32relu-d32relu-mse-8, достигшей лучшей точности на валидационном множестве, и MLP-d512relu-d32relu-d32relu-mse-8, луч-

шей на тестовом множестве, приведены в табл. 3. Каждая составляющая теплового баланса рассчитана со своей погрешностью, показанной на рис. 1.

Наибольшими погрешностями обладают инфильтрационные потери через окна, инфильтрационные потери через входную группу и тепловые потери через системы вентиляции. При этом наибольшими тепловыми потерями являются теплопотери через системы вентиляции и через ограждающие конструкции.

### Заключение

Создан рабочий программный продукт по прогнозируемому расчёту составляющих теплового баланса зданий типовых проектов.

Данный продукт позволяет производить расчёты детерминированным и стохастическим способами с применением искусственных нейронных сетей различной конфигурации. В процессе работы успешно выполнены поставленные задачи:

- разработан математический аппарат по определению теплового загрязнения и объёма тепловых потерь в сетях на участке «ТЭЦ — магистраль — ЦТП»;
- выполнено проведение численного эксперимента;
- выполнено формирование объекта dataset;
- произведена отладка программного обеспечения на основе математического аппарата взаимосвязи величины негативного воздействия на окружающую среду объекта генерации и сетей.

Успешно выполнено тестирование программного продукта и рассмотрен пример расчёта теплового баланса на имеющихся реальных данных по зданию школы типового проекта 65-426/1 в Москве.

1. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализ. ред. СНиП 23-02-2003 / Дата введ.: 01.07.2013.
2. Гужов С.В., Арбатский А.А., Тороп Д.В. О формировании базы данных цифровой модели системы теплоснабжения здания // Журнал СОК, 2023. №6. С. 32–35.
3. Интегральный индекс [Электр. текст]. НИУ «МЭИ». Режим доступа: tci.mpei.ru. Дата обращ.: 22.04.2024.
4. Гужов С.В., Крылова Е.В., Андрюнин С.А. Сравнение отечественных и европейских подходов при расчёте ИТП для здания офисного типа в условиях недостаточности данных // Журнал СОК, 2022. №7. С. 36–38.
5. Варшавский П.Р., Гужов С.В., Сесин А.А., Башлыков М.С. Разработка программных средств для расчёта и прогнозирования интегрального индекса системы теплоснабжения типовых зданий на основе нейросетевых методов // Вестник МЭИ, 2024. №1. С. 138–146.

References — see page 79.

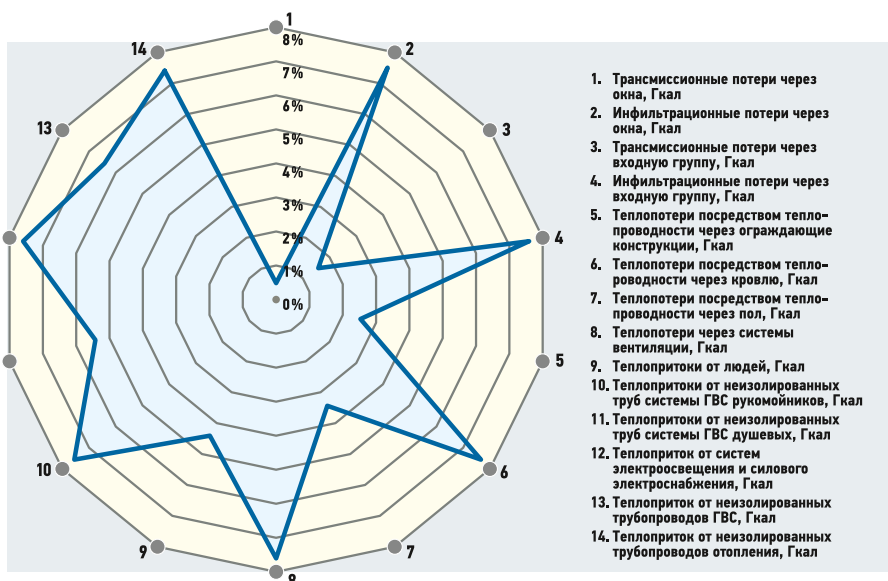


Рис. 1. Погрешности между детерминированным и стохастическим вариантами расчёта для каждой составляющей теплового баланса

# Использование автономных энергоустановок на ВИЭ для энергообеспечения изолированных объектов нефтегазового комплекса

Рецензия эксперта на статью получена 06.06.2024 [The expert review of the article was received on June 6, 2024]

## Введение

На сегодняшний день Российская Федерация занимает весьма значимую позицию в обеспечении баланса спроса и предложения на рынке сжиженного природного газа [1]. После отказа европейских стран от покупок российского трубопроводного газа, а также повреждения магистральных газопроводов «Северный поток-1» и «Северный поток-2» развитие производства сжиженного природного газа (СПГ) в России приобретает приоритетный характер [2].

Для выполнения этой задачи Советом Федерации ФС РФ реализуются конкретные меры по либерализации экспорта сжиженного природного газа [3]. В свою очередь, это подтолкнёт к развитию существующие проекты СПГ, а также будет способствовать вводу новых мощностей по сжижению газа.

Экономия энергоресурсов (в первую очередь природного газа), затрачиваемых на энергообеспечение собственных нужд объектов СПГ, в пользу продажи сэкономленного сжиженного природного газа на азиатские и западные рынки может стать экономическим обоснованием для применения на существующих и на вновь проектируемых площадках объектов ВИЭ-генерации, в частности, ветроэлектростанций (ВЭС).

Здесь же стоит сказать и о замещении природного газа в целях снижения выбросов парниковых газов при производстве электроэнергии, что может вписаться в существующую ESG-стратегию владельцев предприятий, а также планов

**Экономия природного газа, затрачиваемого на энергообеспечение собственных нужд объектов СПГ-кластера, может стать экономическим обоснованием для применения на существующих и на вновь проектируемых площадках объектов ВИЭ-генерации, в том числе ВЭС**

Правительства Российской Федерации по ужесточению требований к выбросам парниковых газов [4].

## Объект электроснабжения

Рассмотрим перспективу использования ветроэлектростанции для энергообеспечения условного энергетического кластера по производству СПГ, расположенного на полуострове Ямал. Объект электроснабжения состоит из завода СПГ на базе Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения и морского порта Сабетта, в котором осуществляется погрузка продукции на СПГ-танкеры.

На территории завода функционирует энергообъект общей мощностью 376 МВт, включающий восемь газотурбинных установок мощностью 47 МВт каждая. Данная газотурбинная электростанция (ГТЭС) обеспечивает электроэнергией и теплом все технологические линии завода СПГ, аэропорт, морской порт, вахтовый посёлок и хозяйственные объекты комплекса.

Структурная схема электроснабжения кластера по производству сжиженного природного газа представлена на рис. 1.

УДК 622.69:620.92. Научная специальность: 2.4.5.

## Использование автономных энергетических установок на возобновляемых источниках энергии для энергообеспечения изолированных объектов нефтегазового комплекса

**В. А. Зубакин**, д.э.н., профессор, заведующий кафедрой «Возобновляемые источники энергии»; **К. Н. Юсупов**, аспирант; **Н. В. Бунин**, магистрант, кафедры «Возобновляемые источники энергии», Российский государственный университет (РГУ) нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина (г. Москва)

Современная конъюнктура рынка сжиженного природного газа (СПГ) развивается опережающими темпами. Наиболее богатыми районами Российской Федерации по разнообразию природных ресурсов, в том числе СПГ являются регионы Крайнего Севера, что определяет формирование развития центров добычи и мощностей по сжижению природного газа. Отдалённость районов Крайнего Севера от системы централизованного энергообеспечения предполагает строительство собственных генерирующих мощностей, использующих газ в качестве топлива, либо обращение к альтернативным источникам энергии для своих потребителей, которыми могут оказаться возобновляемые источники энергии (ВИЭ). В работе предложено использование ветроэлектростанции (ВЭС) как альтернативного варианта источника энергии для покрытия части нагрузки завода СПГ. Произведён анализ допустимой мощности ВЭС на объекте СПГ, выполнено технико-экономическое обоснование использования ВЭС в связи с газотурбинными электростанциями (ГТЭС) с расчётом срока окупаемости в сравнении с автономным электроснабжением на основе только газотурбинных электростанций.

**Ключевые слова:** ветроэлектростанция (ВЭС), возобновляемые источники энергии (ВИЭ), сжиженный природный газ (СПГ).

UDC 622.69:620.92. The number of scientific specialty: 2.4.5.

## Autonomous energy installations on renewable energy sources for supplying energy to isolated objects of the oil and gas complex

**V. A. Zubakin**, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department; **K. N. Yusupov**, postgraduate student; **N. V. Bunin**, master's student, the Department of Renewable Energy Sources, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University, Moscow city)

The current market conditions for liquefied natural gas (LNG) are developing at a faster pace. The richest regions of Russia in terms of the diversity of natural resources (including LNG) are the regions of the Far North, which determines the formation of the development of production centers and capacities for liquefied natural gas. The remoteness of the regions of the Far North from the central power supply involves the construction of their own generating capacities using gas as fuel, or turning to alternative energy sources for their consumers, which may turn out to be renewable energy sources (RES). The article suggests the use of a wind farm as an alternative energy source to cover part of the load of an LNG plant. The analysis of the permissible capacity of a wind farm at the LNG facility was carried out, a feasibility study was carried out for the use of a wind farm in conjunction with gas turbine power plants (GTPP) with the calculation of the payback period in comparison with autonomous power supply based only on gas turbine power plants.

**Keywords:** wind power plant (WPP), renewable energy sources (RES), liquefied natural gas (LNG).



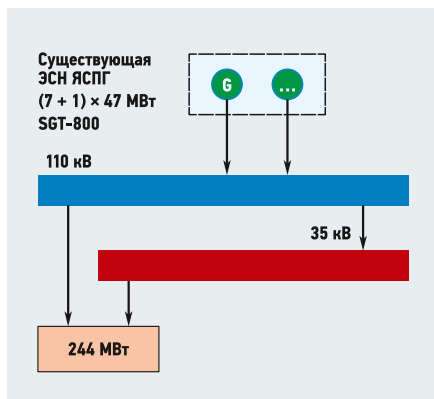


Рис. 1. Структурная схема электроснабжения энергокластера СПГ

### Выбор оборудования

Рынок ветроэнергетики РФ сильно изменился с начала 2022 года, на это в первую очередь повлиял уход зарубежных вендоров, что поставило под угрозу проектируемые и находящиеся на этапе строительства проекты ВЭС. Ввиду этого авторы предлагают рассмотреть альтернативные варианты поставщиков, например, КНР.

Предлагается развернуть ветровую электростанцию (ВЭС) суммарной мощностью 150 МВт, состоящую из ветроэлектроустановок (ВЭУ) фирмы SANY RE мощностью 6,25 МВт каждая. Технический паспорт проектируемой ВЭС

Технический паспорт ВЭС табл. 1

Наименование	Величина
Установленная мощность ВЭС, МВт	150
Мощность ВЭУ SANY RE SI-172625, МВт	6,25
Количество ВЭУ, шт.	24
Высота башни ВЭУ, м	100
Диаметр ветроколеса, м	172

представлен в табл. 1. Предлагаемая российским дистрибьютером цена промышленных ветрогенераторов, по интернет-данным, составляет \$750 за 1 кВт. В общие затраты на строительство также необходимо заложить категории расходов:

- предпроектное обследование (ППО) — ветроизмерения в течение 12–24 месяцев;
- микросайтинг ветроэнергетического потенциала, который заключается в моделировании ветрового поля с учётом изменений характеристик ветра;
- технико-экономическое обоснование (ТЭО);
- макросайтинг, то есть оптимальное размещение ВЭУ, которое минимизирует эффект «ветрового затемнения» генераторов и позволяет рационально использовать площадь участка ветрового поля с возможностью выбрать минимальное допустимое расстояние между ВЭУ;
- проектирование;
- электрическая инфраструктура — внутриплощадочные кабельные сети, главная

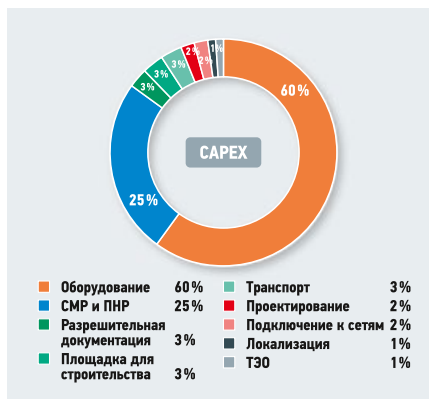


Рис. 2. Распределение затрат на строительство наземных ВЭУ

повышающая подстанция (ГПП), структурированные кабельные системы (СКС), коммутационное оборудование и т.д.;

- выполнение строительно-монтажных работ (СМР);
- дороги и строительные площадки;
- монтаж и пусконаладка ВЭУ (пусконаладочные работы, ПНР);
- управление проектом;
- локализационные расходы;
- технологическое присоединение.

Распределение затрат на строительство наземных ВЭУ приведено на рис. 2.

### Оценка ветроэнергетических ресурсов площадки строительства ВЭС

Объектом является вахтовый посёлок Сабетта Ямалского района Ямало-Ненецкого автономного округа.

В качестве исходных данных использовались метеоданные интернет-базы gr5.ru [5] с ближайшей гидрометеорологической станции в Тамбее на полуострове Ямал. Период выборки: от 3 июля 2021 года до 5 января 2023 года.

Расчёт оценки ветроэнергетических ресурсов производился в соответствии с методиками, приведёнными в трудах профессора В. В. Елистратова [6].

На основе анализа полученных результатов измерения скоростей ветра были определены дифференциальная и инте-

гральная повторяемости скоростей ветра на высоте флюгера метеостанции, равной 10 м. Графики интегральной и дифференциальной повторяемости скоростей ветра приведены на рис. 3.

Дифференциальная повторяемость скорости ветра, представленная на рис. 3, наглядно демонстрирует преобладающий диапазон скоростей, наблюдаемый на территории посёлка Сабетта, а именно 5–6 м/с. Площадки, имеющие на высоте 50 м (но не выше 2000 м над уровнем моря) среднегодовые скорости ветра не менее 6 м/с, могут рассматриваться как перспективные для размещения ветроэлектроустановки любого назначения в широком диапазоне мощностей.

Средняя высота над уровнем моря на полуострове Ямал составляет около 50 м. Самая высокая точка — 90 м. Это говорит о целесообразности проведения дальнейшего исследования площадки под строительство ВЭС.

На основе результатов расчёта определяется суммарный ветропотенциал на высоте флюгера по формуле:

$$N_e = \sum_{i=1}^m \left( \frac{1}{2} \rho_{\text{возд}} v_{\text{ср}i}^3 df_i \right) = 299,5328 \text{ Вт/м}^2, \quad (1)$$

где  $\rho_{\text{возд}}$  — плотность воздуха (принимается 1,225 кг/м<sup>3</sup>);  $v_{\text{ср}i}$  — средняя скорость ветра в  $i$ -м диапазоне разбиения данных скоростей ветра;  $df_i$  — дифференциальная повторяемость ветра в  $i$ -м диапазоне.

Для проектирования ВЭС необходимо пересчитать каждое  $i$ -е измерение скорости ветра на высоте флюгера на высоту оси ветроколеса:

$$v_{hi} = v_{\phi i} \left( \frac{h}{h_{\phi}} \right)^{m_k}, \quad (2)$$

где  $m_k$  — показатель шероховатости местности;  $v_{\phi i}$  — скорость на высоте флюгера;  $h$  и  $h_{\phi}$  — высоты ветроколеса и флюгера.

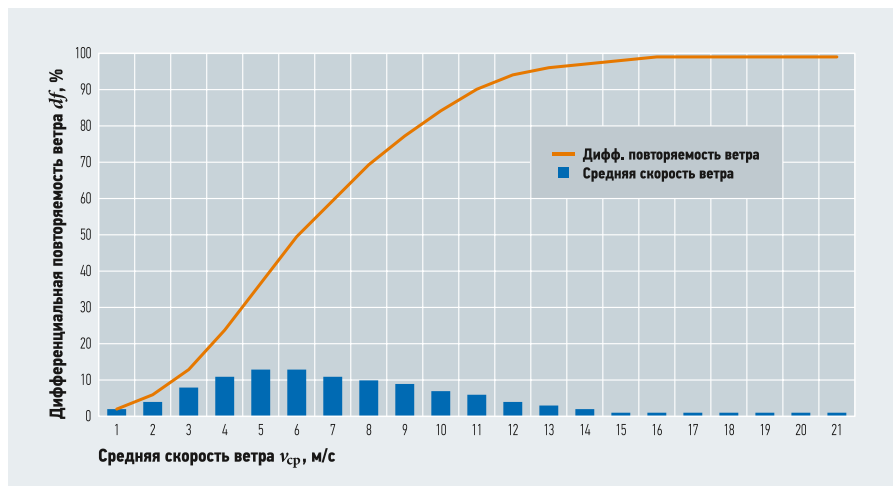


Рис. 3. Интегральная и дифференциальная повторяемость скоростей ветра на высоте флюгера

Территория близ посёлка Сабетта представляет собой плоскую низинную равнину с высотными отметками от 0 до 25 м. Площадь рядом с вахтовым посёлком подходит на характеристику взлётной полосы аэродрома со стриженной травой. Коэффициент шероховатости местности в соответствии с нормированными показателями принимаем равным 0,1364.

С учётом данного показателя производятся расчёты скоростей ветра на высоте ветроколеса и строятся графики дифференциальной и интегральной повторяемости скоростей ветра на высоте ветроколеса (рис. 4). Далее определяется значение суммарного ветропотенциала  $N_e$  на высоте ветроколеса ВЭУ по формуле (1):

$$N_e = \sum_{i=1}^m N_{ei} = 751,1 \text{ Вт/м}^2.$$

Для сравнения, для Кольского полуострова (экстраполяция для 100 м) это значение примерно равно 983 Вт/м<sup>2</sup>.

### Технико-экономическое обоснование применения ВЭС на объекте СПГ

С 2020 года на объекте прорабатывается возможность строительства ВЭС, чтобы постепенно заместить выработку с местной ГТЭС и снизить углеродный след предприятия [7].

Для технического обоснования выбора мощности ВЭС был проведён анализ по следующим критериям для перспективной схемы электроснабжения:

1. Экономически целесообразная загрузка газотурбинной установки — не менее 50%: максимально допустимая мощность ВЭС составляет 150 МВт.
2. Коэффициент запаса аperiodической устойчивости по активной мощности более 0,2, коэффициент запаса статической устойчивости по напряжению более 0,15 (нормальный режим): максимально допустимая мощность ветроэлектростанции составляет 500 МВт.
3. наброс нагрузки на газотурбинную установку при аварийном отключении половины мощности ВЭС — не менее 15%: максимально допустимая мощность ВЭС составляет 250 МВт.
4. Выполнение условия  $S_{ВЭС}/S_{кз} \geq 0,02$ .

Таким образом, итоговая максимально установленная мощность ВЭС по расчётным условиям составила 150 МВт.

### Оценка экономической эффективности реализации проекта

По данным Siemens AG, реализованный проект ГТЭС на Ямале содержит четыре термомаляных котла-утилизатора номинальной мощностью 44,5 Гкал/ч каждый и восемь газовых турбин [8]. Согласно

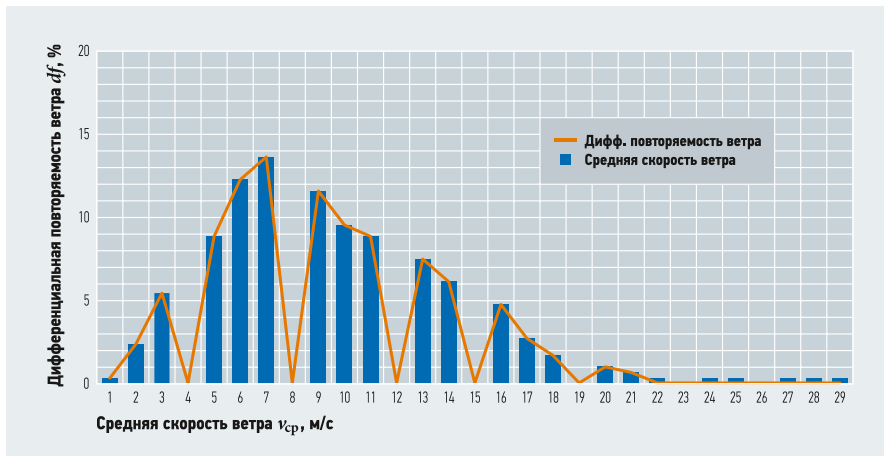


Рис. 4. Интегральная и дифференциальная повторяемость скоростей ветра на высоте ветроколеса

открытым источникам, максимальная нагрузка энергокластера составляет 244 МВт, что покрывается работой шести ГТУ. Основные расчётные параметры газотурбинной установки представлены в табл. 2.

### Характеристики ГТУ STG-800 табл. 2

Наименование	Величина
Электрическая мощность, МВт	45,4
КПД на выводах генератора, %	36,86
Расход уходящих газов, кг/с	129,7
Температура уходящих газов, °С	547
Расход топливного газа*, кг/с	2,505

\* При теплотворной способности газа 8073 ккал/м<sup>3</sup>.

Рассчитаем потребности в природном газе для существующей ГТЭС.

1. Часовой расход газа на один котёл:

$$B_k = \frac{Q_k 10^8}{Q_H^P \eta_{бр}^k}, \quad (3)$$

где  $Q_k$  — максимальная тепловая мощность котла;  $Q_H^P$  — низшая теплота сгорания природного газа;  $\eta_{бр}^k$  — КПД котла брутто, отсюда:

$$B_k = \frac{Q_k 10^8}{Q_H^P \eta_{бр}^k} = \frac{191 \times 10^8}{8760 \times 92} = 23\,700 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

2. Часовой расход газа на три котла:

$$B_{3к} = 3B_k = 71\,100 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

3. Часовой расход газа на ГТУ: расход природного газа на одну ГТУ STG-800 составляет 8797 кг/ч, то есть на шесть ГТУ расход составит 52 782 кг/ч (65 978 м<sup>3</sup>/ч) или 0,187 кг/кВт (0,234 м<sup>3</sup>/кВт).

4. Суммарный часовой расход газа на газотурбинной электростанции ( $K_3 = 1$ ):

$$71\,100 + 65\,978 = 137\,078 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

5. Годовой расход газа на ГТЭС:

$$137\,078 \times 8250 = 1,13 \times 10^9 \text{ м}^3,$$

где 8250 — число часов использования ГТУ в год (с учётом 510 часов на ремонтные работы).

Стоимость природного газа для собственных технологических нужд меняется из года в год и определяется специальным департаментом организаций, эксплуати-

рующих электростанции собственных нужд (ЭСН). Из открытых источников была взята установленная департаментом ПАО «Газпром» для Ковыктинского газоконденсатного месторождения стоимость 1000 м<sup>3</sup> газа, которая в 2020 году составила 5395 руб. без НДС.

Таким образом, на обеспечение теплоэлектроснабжения энергокластера СПГ ежегодно тратится примерно 6,101 млрд руб. Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, получаемой при ГТЭС ( $K_3 = 1$ ), составит  $C_{эл} = 2,62$  руб/(кВт·ч).

В табл. 3 представлены исходные данные для экономического расчёта.

### Данные для экономического расчёта табл. 3

Наименование	Величина
Полезная мощность ВЭС, кВт	45 000
Курс рубля к доллару, руб/\$	95,91
Стоимость 1 кВт·ч э/э $C_{эл.эн}$ , руб/(кВт·ч)	2,62
Номинальная мощность ВЭС, кВт	150 000
Доля логистики проекта от стоимости оборудования $\Delta_{лог}$ , %	20
Ежегодные ОПЕХ на обслуживание ВЭС, % от CAPEX	10
Ежегодный рост ОПЕХ, %	3
Ставка дисконтирования, %	15
Ежегодный рост тарифов на э/э, %	5
Налог на прибыль, %	20
Мощность одной ВЭУ, кВт	6250
Стоимость одной ВЭУ, руб.	449 578 125
CAPEX, млн руб.	31 600
Срок амортизации, лет	20
Реализованный СПГ, млн руб/год	11 438

Первоначальные инвестиции в проект будем рассчитывать по формуле:

$$CAPEX = (C_{уст} + C_{эл} + C_{пр} + C_{мп} + C_{м} + C_{ст} + C_{рд} + C_{л}) \times (1 + \Delta_{лог}) + C_{и}, \quad (4)$$

где  $C_{уст}$  — стоимость ветрогенераторов, размещаемых на площадке;  $C_{эл}$  — расходы на электрическую инфраструктуру;  $C_{ст}$  — расходы на обустройство дорог и строительных площадок;  $C_{пр}$  — расходы



проектирование;  $C_{мп}$  — расходы на ПНР и СМР;  $C_m$  — расходы на менеджмент;  $C_{рд}$  — расходы на микросайтинг;  $C_l$  — локализационные расходы;  $C_i$  — расходы на мероприятия по интеграции ВЭС в уже существующую схему электроснабжения (токоограничивающее оборудование, противоаварийная автоматика, изменение существующих схем обмена данными и т.п.);  $\Delta_{лог}$  — доля логистики проекта в зависимости от объёма инвестиций, %. Отсюда  $CAPEX = 24,463$  млрд руб.

С учётом коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) ВЭС, равного 30 %, ветровая генерация покрывает 45 МВт нагрузки, что эквивалентно  $0,18 \times 10^9$  м<sup>3</sup> сэкономленного газа.

На азиатском рынке стоимость СПГ (JKM) на 23 октября 2023 года составляла \$658 за 1000 м<sup>3</sup>. Таким образом, в год можно продать сэкономленного сжиженного природного газа на сумму примерно 11,435 млрд руб.

Выручка в первый год эксплуатации определяется по формуле:

$$ВЫРУЧКА = P_{ВЭС} 8250 C_{эл} + C_{СПГ} = 12,321 \text{ млрд руб.} \quad (5)$$

где  $C_{СПГ}$  — стоимость СПГ, сэкономленного на выработке электроэнергии с ВЭС и в дальнейшем реализованного на рынке (без учёта прочих расходов).

Предприятию следует учесть свои расходы и затраты подрядчиков (транспортных компаний, терминалов регазификации и т.п.), а также вычет стоимости транспортировки природного газа по трубе (до места, где газ будут сжигать и превращать в СПГ), компенсацию стоимости газа, потраченного при сжижении (обычно на сжижение тратится 10% от объёмов сжижаемого газа), стоимость газификации и хранения плюс стоимость транспортировки на танкере до места назначения: все затраты приблизительно оцениваются в 50 % [9].

Таким образом, итоговая выручка будет равна:

$$ВЫРУЧКА = P_{ВЭС} 8250 C_{эл} + 0,5 C_{СПГ} = 6,646 \text{ млрд руб.}$$

Далее моделируем основные показатели инвестиционной привлекательности проекта ВЭС: **капитальные расходы** (CAPEX); **операционные затраты или операционные расходы** (Operating Expenses, OPEX); **чистый дисконтированный доход** (Net Present Value, NPV или ЧДД); **дисконтированный срок окупаемости** (Discounted Payback Period, DPP); **внутренняя норма доходности** (Internal Rate of Return, IRR); **индекс доходности** (Profitability Index, PI или ИД).

По результатам проведённого расчёта установлено, что:

- дисконтированный срок окупаемости (DPP) проекта ВЭС составляет восемь лет;
- внутренняя норма доходности проекта (ВНД) — 23 %, что превышает ставку дисконтирования и свидетельствует о целесообразности и эффективности проекта;
- индекс доходности инвестиций (ИД) — 1,79, это показывает, что на каждый рубль вложенных инвестиций возвращается прибыль в размере 0 руб. 79 коп.

### Расчёт снижения прямых выбросов парниковых газов

Основой расчёта служит следующая нормативная документация:

- Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 29 июня 2017 года № 330 «Об утверждении методических указаний по количественному определению объёма косвенных энергетических выбросов парниковых газов»;
- Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 27 мая 2022 года № 371 «Об утверждении методик количественного определения объёмов выбросов парниковых газов и поглощения парниковых газов».

Для деятельности завода СПГ характерны прямые выбросы парниковых газов от сжигания природного газа в котлах-утилизаторах. Количественное определение объёма прямых энергетических выбросов при потреблении электрической энергии выполняется по формуле:

$$E_{CO_2, \text{элек.}k, \gamma}^{\text{per}} = FC_{k, \gamma} NCV_{k, \gamma} EF_{CO_2, \text{элек.}k, \gamma}^{\text{per}} \quad (6)$$

где  $E_{CO_2, \text{элек.}k, \gamma}^{\text{per}}$  — объём прямых энергетических выбросов CO<sub>2</sub> от стационарного сжигания топлива за период  $\gamma$ , тонн CO<sub>2</sub>;  $FC_{k, \gamma}$  — расход топлива  $k$  за период  $\gamma$ , т.у.т.;  $EF_{CO_2, \text{элек.}k, \gamma}^{\text{per}}$  — коэффициент выбросов CO<sub>2</sub> от сжигания расхода топлива  $k$  за период  $\gamma$ , тонн CO<sub>2</sub>-единиц;  $NCV_{k, \gamma}$  — коэффициенты перевода в тонны условного топлива и энергетические единицы.

Данные по коэффициентам выбросов и коэффициентам окисления представлены в табл. 1.1 «Коэффициенты перевода расхода топлива в энергетические единицы, коэффициенты выбросов CO<sub>2</sub> и содержание углерода по видам топлива» Приказа Минприроды России № 371:

$$E_{CO_2, \text{элек.}k, \gamma}^{\text{per}} = 0,18 \times 10^9 \times 1,154 \times 1,62 = 336 \, 506,4 \text{ CO}_2\text{-эквивалента.}$$

Итого снижение выбросов по охвату Score 1 (прямые выбросы парниковых газов) от применения энергии из возобновляемых источников энергии составит порядка 336,5 тыс. CO<sub>2</sub>-эквивалента.

### Выводы

Предлагаемый подход является универсальным. Он может быть применён во всех проектах по внедрению ВЭС как основного источника электроснабжения для собственных нужд не только заводов СПГ, но и любых объектов на изолированных и труднодоступных территориях, в том числе объектов линейных участков трубопроводов. Замена ТЭС для выработки электроэнергии на ветровые установки позволяет не только существенно сократить расходы на топливную составляющую при генерации, но и обеспечить лучшие экологические показатели, помогая достигать поставленные цели в рамках ESG-стратегии организации. Данное улучшение достигается за счёт снижения прямых выбросов парниковых газов от сжигания природного газа в котлах-утилизаторах, составивших для рассчитанного проекта 336 506,4 CO<sub>2</sub>-эквивалента.

Использование указанной ВЭС для энергообеспечения завода СПГ на Ямале является рентабельным при большинстве значений показателей инвестиционного проекта, поэтому можно сказать, что данный проект не обладает высокой чувствительностью к изменению его параметров и может быть реализован в большом диапазоне различных условий.

Анализ результатов моделирования показал, что проект окупится через восемь лет. За весь расчётный период, то есть за 20 лет, чистый дисконтированный доход (NPV) составит 19,341 млрд руб. при первоначальных инвестициях 24,463 млрд руб. Таким образом, проект экономически целесообразен. ●

1. Мировой рынок СПГ: структурные особенности и прогноз развития [Электр. текст]. Neftegaz.ru от 10.02.2023. Режим доступа: magazine.neftegaz.ru. Дата обрац.: 20.10.2023.
  2. Никитин А. Путин отметил важность проектов по производству СПГ [Электр. текст]. «Взгляд.ру» от 20.07.2023. Режим доступа: vz.ru. Дата обрац.: 15.10.2023.
  3. Тихонов С. Экспортировать сжиженный природный газ из России станет проще [Электр. текст]. «Российская газета» от 19.10.2023. Режим доступа: rg.ru. Дата обрац.: 19.10.2023.
  4. С 1 июня 2023 года в России заработал реестр выбросов парниковых газов [Электр. текст]. Минэкономразвития России от 01.06.2023. Режим доступа: esopotmy.gov.ru. Дата обрац.: 22.10.2023.
  5. Погода в 241 странах мира [Электр. текст]. Режим доступа: rp5.ru. Дата обрац.: 16.03.2024.
  6. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика: монография. — СПб.: Изд-во СПбПУ, 2016. 424 с.
  7. «НОВАТЭК» ловит ямальский ветер: компания может построить ВЭС на 200 МВт в Сабетте [Электр. текст]. «Коммерсант» от 28.06.2021. Режим доступа: kommersant.ru. Дата обрац.: 19.10.2023.
  8. Экологичные решения на базе турбин Siemens. Локализованные проекты и новые перспективы / Презентация департамента «Производство энергии и газа» Siemens AG (29.11.2017). — М.: Siemens AG, 2017. 15 с.
  9. Gas 2019: Analysis and forecast to 2024. International Energy Agency (IEA). Paris, France. 2019. 181 p.
- References — see page 79.

# Использование цифровых технологий при обосновании энергетических и конструктивных параметров арктической ВЭУ

Рецензия эксперта на статью получена 11.06.2024 [The expert review of the article was received on June 11, 2024]

## Введение

Одной из основных проблем энергоснабжения на территории Российской Федерации является неэффективная автономная энергетика, особенно в удалённых и труднодоступных регионах, включая северные области. В настоящее время эти регионы в основном обеспечиваются электрической энергией от автономных или находящихся в составе локальной энергосистемы дизельных электростанций (ДЭС), работающих на дорогостоящем привозном топливе. Ежегодные поставки топлива для автономных ДЭС в рамках «северного завоза» составляют около 1 млн тонн без учёта потребностей объектов Министерства обороны. В северных районах эксплуатируется более 900 ДЭС мощностью около 1,2 ГВт с производством энергии около 2,5 млн кВт·ч.

Учитывая, что северные и прибрежные районы данных территорий находятся в зоне особо высокого ветроэнергетического потенциала, альтернативой электроснабжению на базе ДЭС может стать внедрение ветроэлектрических установок (ВЭУ) и создание модульных ветродизельных энергокомплексов (ВДЭС) вида «дизель-генераторная установка (ДГУ) + ВЭУ» мощностью ДГУ около 250 кВт и ВЭУ до 100 кВт, адаптированных к арктическим климатическим условиям (низкие температуры до  $-50^{\circ}\text{C}$ , ураганные ветра до 60 м/с, обледенение, основания на вечномёрзлых грунтах и другие экстремальные условия) [1–4].

При этом в современной практике проектирования, в том числе объектов ветроэнергетики [5–7], сформировался принцип цифрового подхода к проектированию и управлению объектами на всей стадии их жизненного цикла. Так, в [3] предложен и реализован принцип внедрения цифрового проектирования ВЭУ

**Поскольку северные и прибрежные районы данных территорий находятся в зоне особо высокого ветроэнергетического потенциала, альтернативой электроснабжению на базе ДЭС может стать внедрение ветроэлектрических установок (ВЭУ)**

и их элементов для реальных природно-климатических условий территории Арктической зоны России с использованием современных программных средств расчёта и моделирования.

Для решения научно-технологических и технико-экономических задач разработки арктических конкурентоспособных ВДЭС в НОЦ «Возобновляемые виды энергии и установки на их основе» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ) разработаны принципы создания [16] модульной ветроэнергетической установки.

ВЭУ состоит из изготавливаемых в заводских условиях элементов и частей, которые учитывают условия доставки на Крайний Север в короткий навигационный период, имеет систему самоподъёма для монтажа без использования тяжёлой подъёмно-транспортной техники и оригинальную опорную конструкцию башни с модульным фундаментом. На предлагаемую конструкцию башни и модульного фундамента получены патенты РФ [17–19], а также предложен принцип модульности и быстровозводимости опорных конструкций ВЭУ [20].

Объектом данного исследования являются энергетические и конструктивные параметры ВЭУ, обеспечивающие устойчивость конструкции, надёжность эксплуатации и высокие энергетические характеристики установки.

УДК 621.311.24:621.548. Научная специальность 2.4.5.

## Использование цифровых технологий при обосновании энергетических и конструктивных параметров арктической ветроэнергетической установки

**В. В. Елистратов**, д.т.н., профессор; **А. А. Панфилов**, к.т.н., доцент, Высшая школа гидротехнического и энергетического строительства (ВШГЭС), Инженерно-строительный институт (ИСИ), Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ); **С. Г. Петров**, аспирант, СПбПУ

Предметом исследования являются конструктивные параметры ВЭУ. Предложен модульный принцип создания фундамента ВЭУ. Модули изготавливаются на заводе, транспортируются в стандартном контейнере, монтаж возможен без применения сложной техники. Выполнено САД-моделирование, с передачей в программный комплекс CAE ANSYS. Цифровая технология создания модульной ВЭУ может быть использована для проектирования в сложных условиях Арктики.

**Ключевые слова:** возобновляемая энергетика, арктическое строительство, ветродизельные энергокомплексы, модульный фундамент, вечная мерзлота, труднодоступность, Арктика.

UDC 621.311.24:621.548. The number of scientific specialty: 2.4.5.

## The use of digital technologies in substantiating the energy and design parameters of the Arctic wind power plant

**V. V. Elistratov**, Doctor of Technical Sciences, Professor; **A. A. Panfilov**, PhD, Associate Professor, Higher School of Hydraulic Engineering and Energy Construction (HSHEEC), Institute of Civil Engineering (ICI), Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU); **S. G. Petrov**, graduate student, SPbPU

The subject of the study is the design parameters of wind turbines. A modular principle for creating a wind turbine foundation is proposed. The modules are manufactured at the factory, transported in a standard container, and installation is possible without the use of complex equipment. CAD modeling was completed and transferred to the CAE software package ANSYS. Digital technology for creating a modular wind turbine can be used for design in difficult Arctic conditions.

**Keywords:** energy, Arctic construction, wind-diesel energy complexes, modular foundation, permafrost, inaccessibility.



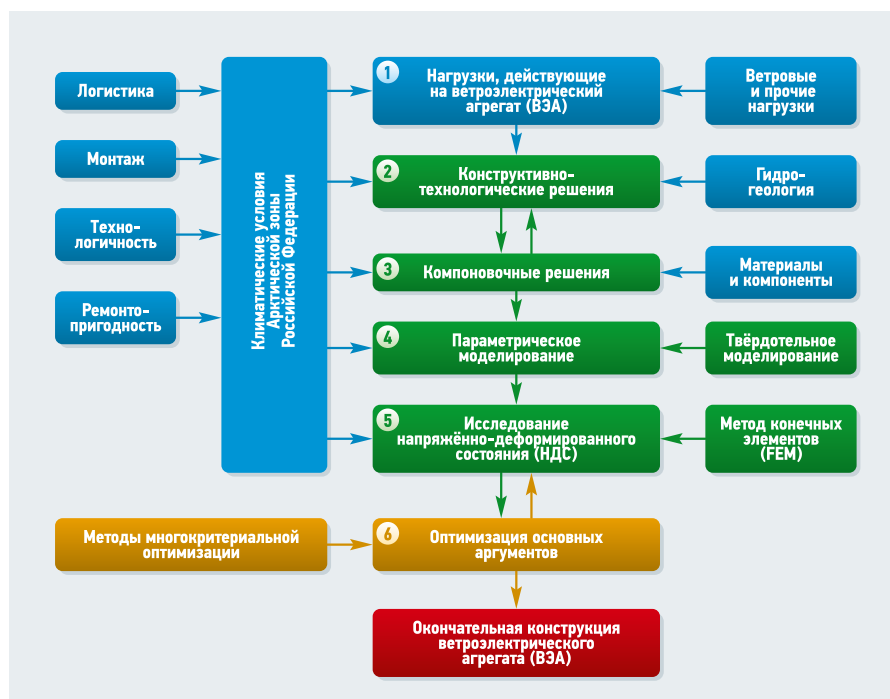


Рис. 1. Блок-схема этапов выбора основных параметров цифровой модульной ВЭУ

Цель исследования — разработка методики цифрового обоснования энергетических, конструктивно-технологических и компоновочных решений модульной ВЭУ арктического исполнения и расчёт её элементов. Задачи исследования:

1. Разработать методические принципы проектирования параметров инженерно-строительной конструкции ВЭУ с учётом влияния экстремальных природно-климатических характеристик арктических территорий на энергетические параметры, нагрузки и воздействия.
2. Обосновать конструктивно-технологические и компоновочные решения модульного фундамента ветроэлектрической установки с применением методов многокритериальной оптимизации.
3. Произвести расчёт напряжённо-деформированного состояния (НДС) элементов модульного фундамента с применением программного комплекса ANSYS.

ПО ANSYS представляет собой многоцелевой пакет программ для численного моделирования физических процессов и явлений в области прочности, динамики жидкостей и газов, теплофизики, электромагнетизма, акустики и многих других, а также активно используется для решения междисциплинарных задач.

### Основной раздел

Для цифрового проектирования модульной ВЭУ предложена методология последовательной реализации взаимосвязанных этапов, начиная с этапа ресурсных оценок и определения энергетических характеристик ветроэлектрических устано-

вок с использованием данных ветровых, природно-климатических условий и конструктивных решений (диаметра ветроколеса, высота башни и др.) [22].

Этапы цифрового проектирования модульной ВЭУ для суровых климатических условий Арктической зоны Российской Федерации представлены на рис. 1 в виде комплексной блок-схемы, включающей конструирование ВЭУ из модульных унифицированных элементов и материалов, адаптированных к арктическим климатическим условиям (низким температурам до  $-50^{\circ}\text{C}$ , ураганным ветрам до  $60\text{ м/с}$ , обледенению, вечномёрзлым грунтам и др. экстремальным условиям), сложным логистическим условиям доставки оборудования и монтажа элементов на площадке.

Блоки внешних исходных данных и условий для определения нагрузок на ВЭУ на рис. 1 выделены синим цветом. Блоки моделирования и расчёта конструкции модульного фундамента выделены на рис. 1 зелёным цветом. Блоки оптимизации параметров опорных конструкций и модульного фундамента выделены на рис. 1 оранжевым цветом.

В блоке 1 «Нагрузки, действующие на ветроэлектрический агрегат (ВЭА)» учитывается изменение плотности тёплого и холодного воздуха, изменение (увеличение) массы элементов ВЭУ из-за обледенения её основных элементов. Особое внимание уделяется учёту дисбалансов нагрузок, действующих со стороны ветрового колеса от вращения покрытых изморозью лопастей.

В блоках 2–5 решаются задачи конструирования элементов ВЭУ с учётом слабо-развитой транспортной инфраструктуры доставки и возведения, геокриологических особенностей грунтов и оснований. Конструктивно-технологические и компоновочные решения принимаются на основании многокритериальной оптимизации (блок 6).

Критериями выбора параметров башни являются обеспечение передачи нагрузок от ветроэлектрического агрегата на фундамент и секционность, обеспечивающая транспортировку в телескопическом виде (секции вложены одна в другую). Критериями выбора параметров фундамента являются прочность, низкая материалоемкость, возможность транспортировки отдельных модулей. В результате реализации решений в соответствии с последовательностью, приведённой на рис. 1, определяются и оптимизируются параметры фундамента, которые бы удовлетворяли этим критериям.

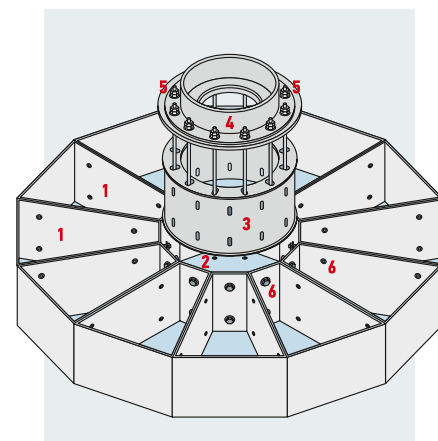


Рис. 2. Схема модульного фундамента ВЭУ (1 — внешние модули; 2 — центральный модуль; 3 — внутренний модуль; 4 — опорный фланец башни ВЭУ; 5 — анкерные болты; 6 — болтовые соединения)

Конструктивно модульный фундамент [19] (рис. 2) состоит из пустотелых внешних модулей 1 и центрального модуля 2, в который помещается опорный внутренний модуль 3, служащий для крепления нижней секции башни 4 с фундаментом и жёсткой связи всех конструктивных элементов фундамента 1 и 2 с помощью анкерных болтов 5 и болтовых соединений 6. Конструкция крепления этих элементов обеспечивает их жёсткость, что позволяет модульному фундаменту работать как единое целое.

Чтобы фундамент работал как монолитный гравитационный объект, применяется балластная нагрузка из местных сыпучих материалов, изъятых при организации котлована.

Для определения прочности основания и устойчивости конструкции рассмотрена контактная задача по определению нормального давления  $p(x, y)$  на грунт и подошву фундамента в любой произвольной точке пятна контакта с использованием формулы внецентренного сжатия:

$$p(x, y) = \frac{N}{A_{\text{ф}}} \pm \frac{M_x}{I_x} y \pm \frac{M_y}{I_y} x, \quad (1)$$

где  $N$ ,  $M_x$  и  $M_y$  — вертикальное усилие и моменты, приложенные к геометрическому центру подошвы фундамента вдоль и вокруг осей  $z$ ,  $x$  и  $y$ , соответственно;  $A_{\text{ф}}$  — площадь контакта подошвы фундамента с грунтом основания;  $I_x$  и  $I_y$  — моменты инерции площади контакта относительно осей  $x$  и  $y$ .

Максимальное возможное давление на грунт основания фундамента должно удовлетворять условию  $p_{\text{max}} \leq 1,2R$ , где  $R$  — расчётное сопротивление основания для второго предельного состояния (по деформациям) для круглого фундамента.

Чтобы минимизировать массу конструктивных материалов, предложено использовать коэффициент перегрузки:

$$K_{\text{пер}} = \frac{N_{\text{тр}}}{N}, \quad (2)$$

где  $N_{\text{тр}}$  — суммарный вес ВЭУ и фундамента, требуемый для выполнения условия  $p_{\text{min}} \geq 0$  (с учётом принятия худшего, наиболее лёгкого варианта балластной нагрузки плотностью  $1500 \text{ кг/м}^3$ ), зависящий от заданных геометрических размеров и собранных нагрузок:

$$N_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{ВЭУ}}}{r} - N_{\text{ВЭУ}}, \quad (3)$$

где  $M_{\text{ВЭУ}}$  — опрокидывающий момент от ВЭУ;  $N_{\text{ВЭУ}}$  — вес ВЭУ;  $r$  — радиус внешней (описанной) окружности фундамента.

Необходимо обеспечить минимальное превышение усилия от веса фундамента над усилием, приложенным к геометрическому центру подошвы, то есть обеспечения  $K_{\text{пер}} \approx 1,0$ .

Оптимизация размеров фундамента проведена на основании критерия прочности (1) и коэффициента перегрузки (2).

В результате проведённых исследований обоснованы параметры модульного фундамента для ВЭУ 100 кВт.

Оптимальный вариант конструкции фундамента должен обладать достаточной прочностью, то есть способностью выдерживать возникающие нагрузки, и при этом иметь наименьшую материалоемкость. В то же время габариты отдельных модулей должны позволить разместить в контейнере их максимальное число. Для данного фундамента с использованием

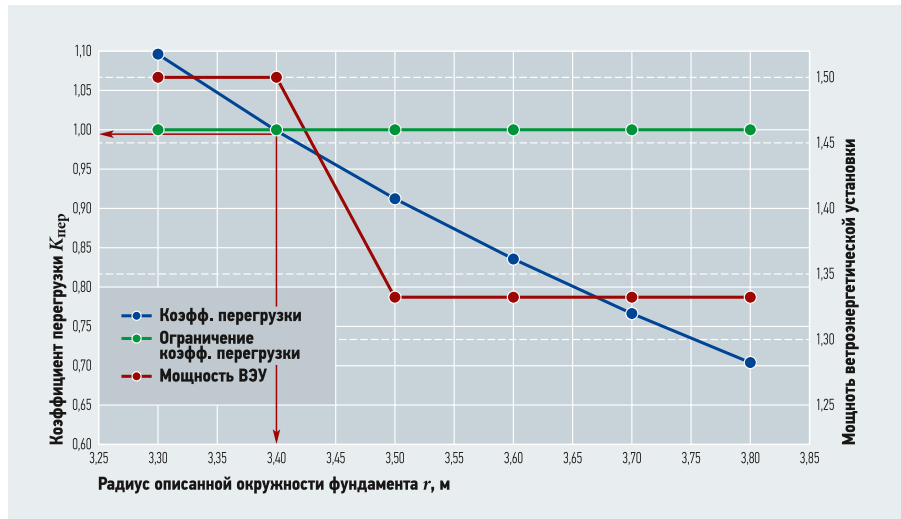


Рис. 3. Подбор параметров фундамента ВЭУ (12 модулей)

показателя вместимости рассчитаны геометрические размеры внешних модулей для размещения в стандартном 40-футовом контейнере [21]. Вместимость оценивалась как отношение количества модулей, помещающихся в контейнер, к количеству боковых модулей, необходимых для создания прочного и устойчивого фундамента установки.

Высота фундамента принята равной 1,1 м, что позволило разместить в контейнере два ряда модулей, а радиус центрального и внутреннего модулей подбирался исходя из значения нижнего радиуса башни (для ВЭУ мощностью 100 кВт радиус нижней части башни составляет примерно 0,75 м).

Подбор параметров внешних модулей осуществлялся итерационным способом. Результат подбора иллюстрирует

диаграмма, приведённая на рис. 3. При 12 модулях вместимость контейнера максимальна при коэффициенте перегрузки, равном 0,99, и при радиусе фундамента, равном 3,4 м, то есть 12-модульный фундамент оказался наиболее экономичным.

Для природно-климатических и ветровых условий Ямало-Ненецкого автономного округа (посёлок Яр-Сале) использована адаптированная к арктическим условиям ВЭУ, имеющая следующие характеристики: установленная мощность — 100 кВт; высота башни — 30 м; выработка энергии с учётом простоев, связанных с обледенением, — 319 МВт·ч; радиус привалочной плоскости башни — 0,75 м; вес ВЭУ  $N_{\text{ВЭУ}} = 190 \text{ кН}$ ; момент от вращения ветроколеса  $M_x = 2500 \text{ кН·м}$ ; опрокидывающий момент  $M_y = 400 \text{ кН·м}$ .

На основе выполненных итерационных расчётов получены значения параметров модульного фундамента: число модулей — 12 шт., толщина стенки модуля — 20 мм, высота фундамента — 1,1 м, радиус описанной окружности опорного модуля — 1,1 м, радиус описанной окружности фундамента — 3,4 м; коэффициент перегрузки  $K_{\text{пер}} = 0,99$ .

Масса стального фундамента равна 22,7 т, масса балластной нагрузки — 52 т (грунт обратной засыпки взят с минимальной плотностью  $1500 \text{ кг/м}^3$ ).

На следующем этапе цифрового проектирования арктической ветроэлектрической установки на основе полученных характеристик в программе Invertor была создана параметрическая 3D-модель CAD (рис. 4), позволяющая осуществлять экспорт конструкции в программные комплексы Computer-Aided Engineering (CAE).

В качестве программного комплекса CAE для проверки прочности и работоспособности фундамента было выбрано ANSYS. В данном ПО выполнен расчёт напряжённо-деформированного состояния (НДС) фундамента при помощи расчётного модуля Static Structural, который



Рис. 4. Расчётная параметрическая 3D-модель ВЭУ 100 кВт для CAD



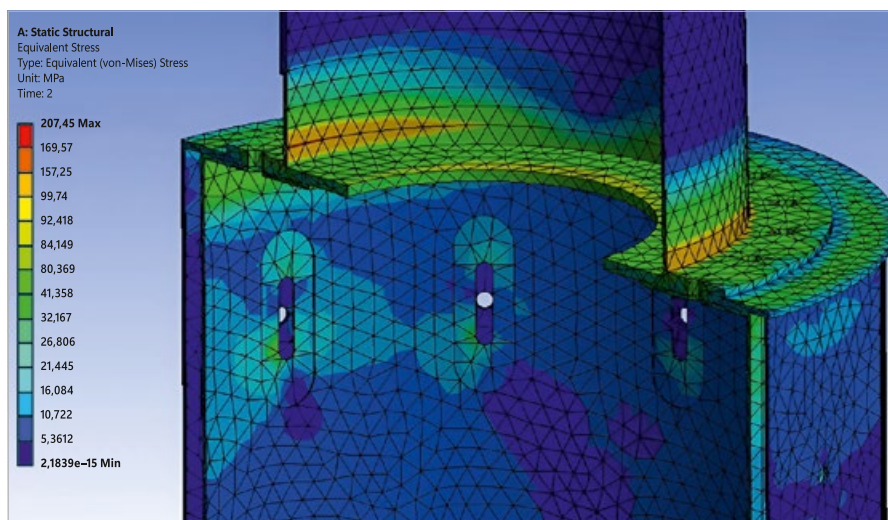


Рис. 5. Напряжения, возникающие в фундаменте и месте крепления башни (МПа)

предназначен для решения задач механики деформируемого твёрдого тела в статической постановке. Материал фундамента — конструкционная сталь с повышенными показателями прочности для установок, эксплуатируемых в холодном климате. Из библиотеки ANSYS принят аналог российской стали 16Г2АФ со схожими характеристиками. Все нагрузки приложены к нижнему фланцу башни ветроэлектрической установки.

Цифровое моделирование НДС для различных расчётных случаев показало, что наибольшие напряжения возникают в местах крепления фланца башни с фундаментом (рис. 5), однако и в этом месте напряжения не превышают допустимых.

Анализ выполненных расчётов НДС показал, что элементы спроектированного модульного фундамента выдерживают

возникающие в процессе эксплуатации нагрузки и конструкция в целом является работоспособной.

### Заключение

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Разработана методология цифрового проектирования модульной ВЭУ в виде последовательной реализации взаимосвязанных этапов от ресурсных оценок и определения энергетических характеристик ВЭУ до этапа проектирования инженерно-строительных конструкций ВЭУ для суровых климатических условий.
2. Предложены конструктивно-технологические решения ВЭУ модульного исполнения, включая фундамент, состоящий из элементов (модулей) высокой степени заводского исполнения.

3. Подобраны основные характеристики модульного фундамента для ВЭУ мощностью 100 кВт: радиус внешней (описанной) окружности фундамента составляет 3,4 м; высота фундамента — 1,1 м, число внешних модулей — 12 шт., толщина стенки модуля — 20 мм, радиус внешней (описанной) окружности центрального модуля — 1,1 м. Масса металлических конструкций фундамента составила 22,7 т.

4. Для природно-климатических и ветровых условий Ямало-Ненецкого автономного округа (посёлок Яр-Сале) рассчитаны энергетические и силовые характеристики адаптированной к арктическим условиям ВЭУ, на основе которых сформированы исходные данные для расчёта НДС.

5. Выполнен расчёт напряжённо-деформированного состояния фундамента, который показал, что конструкция модульного фундамента с подобранными параметрами выдерживает возникающие нагрузки и является работоспособной.

6. Разработанная методика проектирования и цифровая модель модульной ВЭУ с возможностью учёта влияния метеорологических и природно-климатических характеристик арктических территорий на энергетические параметры, нагрузки и воздействия может быть использована при создании эффективных ВДЭС с модульными ВЭУ для удалённых регионов Арктической зоны России в условиях неразвитой дорожной инфраструктуры и отсутствия мощной подъёмно-транспортной техники. ●

1. Елистратов В.В. Оптимальные решения системы автоматического управления энергокомплексов средней мощности на основе возобновляемых источников энергии // Силовое и энергетическое оборудование. Автономные системы, 2019. №2. С. 69–85.
2. Hall L.M.H., Buckley A.R. A review of energy systems models in the UK: Prevalent usage and categorization. Applied Energy. 2016. Vol. 169. Pp. 607–628.
3. Елистратов В.В., Панфилов А.А. Особенности проектирования фундаментов ветроэнергетических установок в условиях вечной мерзлоты / Полярная механика — 2016: Материалы III международной конференции (г. Владивосток, 27–30.09.2016). — Владивосток: ДФУ, 2016. С. 599–609.
4. Елистратов В.В. Энергоснабжение объектов в Арктике с использованием возобновляемых источников энергии // Журнал «Neftegaz.Ru», 2023. №1. С. 74–79.
5. A breakdown of the digital wind farm. The energy to change the world. GE Vernova. Web-source: [governova.com](http://governova.com). Access date: August 27, 2023.
6. LIFESPAN: A digital suite optimizing operations proven to meet evolving. GE Vernova. Web-source: [ge.com](http://ge.com). Access date: August 27, 2023.
7. De Kooning J.D.M., Stockman K., De Maeyer J., Laguna A.J., Vandeveld L. Digital twins for wind energy conversion systems: A literature review of potential modeling techniques focused on model fidelity and computational load. Processes. 2021. Vol. 9. Issue 12.
8. Elistratov V.V., Panfilov A.A., Konyshchev M.A., Denisov R.S. The application of adapted materials and technologies to create energy systems based on renewable energy sources under harsh climatic conditions. Applied Solar Energy. 2018. Vol. 54. Issue 6. Pp. 472–476.
9. Chade D., Miklis T., Dvorak D. Feasibility study of wind-to-hydrogen system for Arctic remote locations — Grimsey Island case study. Renewable Energy. 2015. Vol. 76. Pp. 204–211.
10. Sinha S., Chandel S.S. Review of recent trends in optimization techniques for solar photovoltaic — wind based hybrid energy systems. 2015. Vol. 50. Pp. 755–769.
11. Ringkjøb H.-K., Haugan P.M., Solbrenke I.M. A review of modelling tools for energy and electricity systems with large shares of variable renewables. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 96. Pp. 440–459.
12. Liu Y., Yu S., Zhu Y., Wang D., Liu J. Modeling, planning, application and management of energy systems for isolated areas: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 82. Pp. 460–470.
13. Lambert T., Gilman P., Lilienthal P. Micropower system modelling with HOMER. In: Integration of alternative sources of energy (Chapter 15). Edited by M.G. Simoes, F.A. Farret. Wiley-IEEE Press. 2006. Pp. 379–418.
14. Rud J.N., Hormann M., Hammervold V., Ásmundsson R., Georgiev I., Dyer G., Andersen S.B., Jessen J.E., Kvorning P., Brødsted M.R. Energy in the West Nordics and the Arctic: Scenario analysis. Nordic Council of Ministers. Copenhagen, Denmark. 2018. 109 p.
15. Elistratov V.V., Denisov R.S. Justification of wind turbine operation and management modes for Russian Arctic conditions. Proc. of 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM-2017). St. Petersburg, Russia. May 16–19, 2017.
16. Елистратов В.В., Конищев М.А., Денисов Р.С., Богун И.В. Арктическая ветродизельная электростанция с интеллектуальной системой управления // Электричество, 2022. №2. С. 29–37.
17. Патент RU 157615 U1. МПК E04H 12/18. Телескопическая ветробашня / В.В. Елистратов, А.А. Панфилов, М.А. Конищев, Р.С. Денисов. Патентобл.: ФГАУ ВО «СПбПУ»; заявл.: 13.07.2015; опубл.: 10.12.2015.
18. Патент RU 167022 U1. МПК E02D 27/42. Модульный фундамент ветроэлектрической установки / В.В. Елистратов, А.А. Панфилов, Р.С. Денисов, М.А. Конищев. Патентобл.: ФГАУ ВО «СПбПУ»; заявл.: 02.06.2016; опубл.: 20.12.2016.
19. Патент RU 207608 U1. МПК E02D 27/42. Универсальный модульный фундамент арктической ветроэлектрической установки / В.В. Елистратов, А.А. Панфилов, С.Г. Петров. Патентобл.: ФГАУ ВО «СПбПУ»; заявл.: 30.07.2021; опубл.: 03.11.2021.
20. Петров С.Г., Панфилов А.А. Конструктивно-технологические особенности строительства модульных ветроэнергетических установок арктического исполнения / В сб.: Неделя науки СПбПУ: Мат. науч. конф. с межд. участием. Лучшие доклады (г. Санкт-Петербург, 18–23.11.2019). — СПб.: Изд-во СПбПУ, 2019. С. 36–41.
21. Размеры и характеристики контейнеров для перевозки грузов [Электр. текст]. ООО «Контмастер». Режим доступа: [contmaster.ru](http://contmaster.ru). Дата обраб.: 27.08.2023.
22. Елистратов В.В. Научно-техническое обоснование и проектирование энергокомплексов на основе ВИЭ для сложных природно-климатических условий // Электричество, 2023. №10. С. 4–21.

References — see page 80.

# Расчёт энергетической эффективности при повышении герметичности уплотнения роторного регенератора

Рецензия эксперта на статью получена 11.06.2024 [The expert review of the article was received on June 11, 2024]

## Введение

Для создания комфортных условий пребывания людей внутри помещений зданий различного назначения необходимо организовывать воздухообмен. Даже минимальные требования по подаче 20 м<sup>3</sup>/ч свежего воздуха [1] приводят к существенным затратам теплоты в приточных системах вентиляции. В большинстве случаев системы приточной и вытяжной вентиляции сбалансированы, то есть количество удаляемого нагретого воздуха равно приточному. Поэтому можно говорить про безвозвратные потери нагретого воздуха.

Для нагрева приточного воздуха в системах вентиляции и кондиционирования традиционно используется горячая или перегретая вода ИТП. Большая расчётная нагрузка на ИТП и значительные эксплуатационные затраты ставят перед проектировщиками систем вентиляции и кондиционирования задачу по реализации энергосберегающих мероприятий уже на этапе создания таких систем. Для снижения потребления теплоты с целью нагрева приточного воздуха могут быть предложены различные мероприятия по утилизации теплоты удаляемого (вытяжного) воздуха: рециркуляция, рекуперация и регенерация.

Анализ продаж оборудования для систем вентиляции и кондиционирования воздуха за период 2012–2020 годов позволяет сделать вывод о том, что в момент объём продаж приточно-вытяжных установок достигал 38,5 % от общего рынка, а 96 % всех приточно-вытяжных установок были оснащены системами рекуперации или регенерации теплоты [2].

## Роторные регенераторы

В настоящей статье рассмотрена система утилизации теплоты вытяжного воздуха с применением роторного регенератора. Роторные регенераторы — это наиболее

эффективный тип утилизаторов теплоты удаляемого (вытяжного) воздуха, их КПД составляет порядка 75–85 % [2]. Однако особенностью их работы является переток части вытяжного воздуха в приточный. Эта особенность накладывает ограничение на использование установок, в состав которых входит роторный регенератор, в помещениях с повышенными требованиями к чистоте приточного воздуха [1].

## Большая расчётная нагрузка на ИТП и значительные эксплуатационные затраты ставят перед проектировщиками систем вентиляции и кондиционирования задачу по реализации энергосберегающих мероприятий уже на этапе создания таких систем

На рис. 1 представлено схематическое исполнение приточно-вытяжной установки с роторным регенератором.

Независимо от производителя роторных регенераторов их конструкция является практически одинаковой. В качестве аккумулирующей насадки используется алюминиевая фольга толщиной 0,6 мм и высотой ребра 1,9 мм, оребрение — треугольное. Отечественная промышленность выпускает роторные регенераторы в наиболее оптимальном конструктивном исполнении со стандартной глубиной 200 мм и диаметром до 2700 мм.

Аккумулирующая насадка через ремённой привод соединена с мотор-редуктором, который обеспечивает её вращение со скоростью до 60 об/мин. Вращение насадки позволяет попеременно находиться ей в воздухе с разной температурой, то есть в один момент времени насадка нагревается, в другой — остывает. Этот процесс представлен на рис. 2.

УДК 628.84. Научная специальность: 2.1.3.

### Расчёт энергетической эффективности при повышении герметичности уплотнения роторного регенератора

**М. Ю. Петрухин**, технический директор ООО «Атмосфера»; **А. А. Арбатский**, к.т.н., генеральный директор НИИ «Энергоэффективных технологий микроклимата»; **М. В. Горелов**, к.т.н., доцент, старший научный сотрудник НИИ «Энергоэффективных технологий микроклимата»

*Работа посвящена анализу использования роторного регенератора теплоты удаляемого воздуха в системах вентиляции и определению энергетического эффекта от внедрения нового типа уплотнения, которое снижает переток воздуха из приточного тракта в удаляемый. Представлен удельный показатель экономии, выраженный в рублях на 1 м<sup>3</sup> перекаченного воздуха, который может быть использован для оценки использования нового типа уплотнения в системах приточно-вытяжной вентиляции многофункциональных комплексов города Москвы.*

**Ключевые слова:** приточно-вытяжная вентиляция, роторный регенератор, утилизация теплоты вентиляционного воздуха, энергосбережение, регенерация теплоты, приточно-вытяжная установка.

UDC 628.84. The number of scientific specialty: 2.1.3.

### Calculation of energy efficiency through the rotary regenerator seal improvement

**M. Yu. Petrukhin**, Technical Director of "Atmosphere", LLC; **A. A. Arbatsky**, PhD, General Director of the Research Institute of Energy-Efficient Technologies of Microclimate; **M. V. Gorelov**, PhD, Associate Professor, Senior Researcher at the Research Institute of Energy-Efficient Technologies of Microclimate

*The paper presents the analysis of the heat rotary regenerator used for the air removed in ventilation systems as well as the determination of the energy effect by implementing a new improved seal to reduce the airflow from the supply path to the removed one. A specific saving indicator in rubles per 1 m<sup>3</sup> of the air pumped is applied by the authors to evaluate the exploitation of this new seal type in supply and exhaust ventilation systems in Moscow multifunctional complexes.*

**Keywords:** supply and exhaust ventilation, rotary regenerator, heat recovery of ventilation air, energy saving, heat regeneration air handling unit.



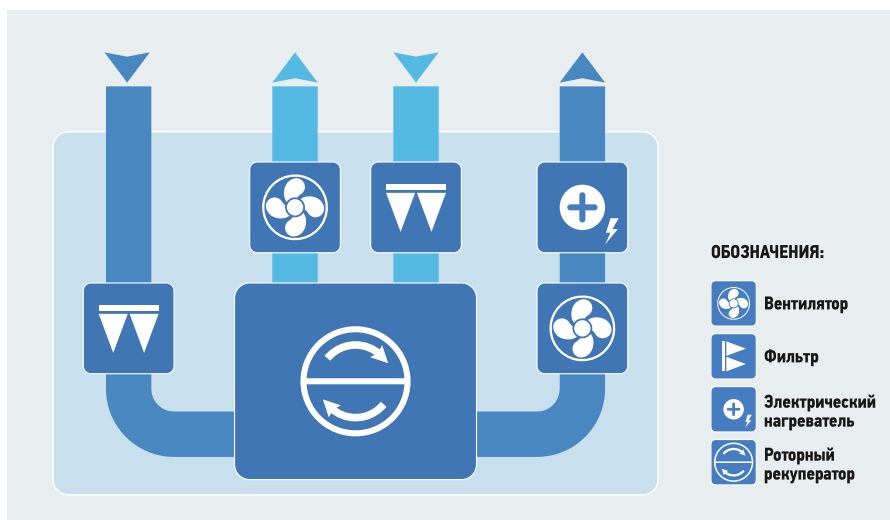


Рис. 1. Принципиальная схема приточно-вытяжной установки с роторным регенератором

**Уплотнитель**

При применении роторных тепловых утилизаторов используются устройства, ограничивающие переток между каналами приточного и вытяжного воздуха. Обычно это специальные уплотнители, которые непосредственно контактируют с теплообменником при вращении. Такие устройства представляют из себя, как правило, плотную щётку из полимерного композита, которая прилегает к вращающемуся теплообменнику, либо резиновую ленту. От плотности прилегания и качества материала зависит степень уплотнения и способность сохранять герметичность при длительной работе устройства.

В работе рассмотрены два типа уплотнителей для роторных утилизаторов теплоты. Наиболее распространённый на текущий момент на рынке тип уплотнения — «тип 1» (рис. 3а), также имеется

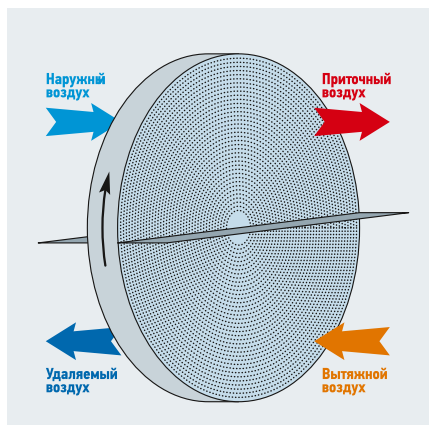


Рис. 2. Принцип действия роторного регенератора в системе вентиляции

уплотнение альтернативной конструкции (разработано компанией «Атмосфера», применяется в установках типа AF-R) — «тип 2» (рис. 3б).

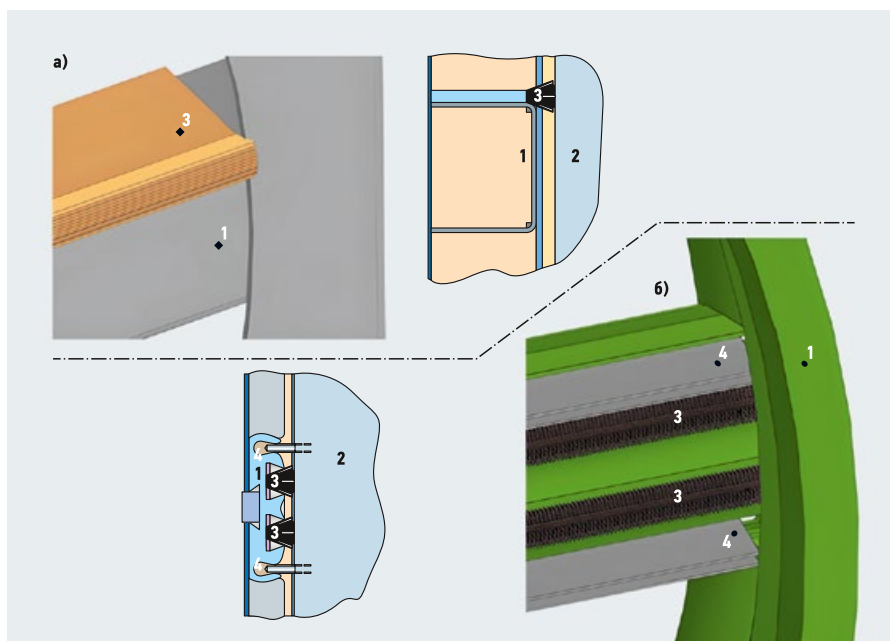


Рис. 3. Типы уплотнений роторного теплоутилизатора [а — «тип 1» (уплотнение, применяемое в настоящее время в большинстве случаев): 1 — установочный каркас, 2 — роторный теплоутилизатор, 3 — щёточный уплотнитель; б — «тип 2» (предлагаемая конструкция для улучшения показателей герметичности): 1 — установочный каркас, 2 — роторный теплоутилизатор, 3 — щёточный уплотнитель, 4 — тефлоновый либо EPDM (или аналогичный) уплотнитель]

В уплотнении «тип 1» используется щёточный уплотнитель из полимерного композита, устанавливаемый «внахлёт» к роторному теплоутилизатору с целью обеспечить как можно более плотный прижим. Существуют варианты уплотнения «тип 1» с установкой щётки под углом, отличным от 90°, к плоскости входа теплового утилизатора. Реже применяются две щётки, устанавливаемые сверху и снизу.

В уплотнении «тип 2» используется двойное уплотнение из тефлона (также возможно использование материала типа EPDM или аналогичного, возможна вариативность твёрдости по Шору для достижения наилучшего сочетания герметичности и износостойкости) и двойное уплотнение в виде щётки из полимерного композита. Все элементы плотно прилегают к теплообменнику и при этом незначительно препятствуют вращению. Конкретные виды применяемых материалов могут варьироваться в зависимости от необходимой степени износостойкости и соотношения плотности прилегания и величины обеспечиваемой герметичности.

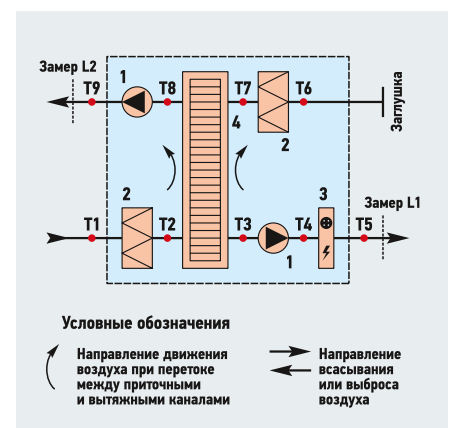


Рис. 4. Схема экспериментальной установки [1 — вентилятор (2 шт.); 2 — фильтр (2 шт.); 3 — электрический нагреватель (1 шт.); 4 — роторный тепловой утилизатор (1 шт.)]

Для сравнения двух приведённых типов уплотнений были проведены экспериментальные исследования. На рис. 4 представлена схема экспериментальной установки. Всего было реализовано две установки, отличие которых заключалось в типах применяемых уплотнителей. Для двух различных типов тепловых утилизаторов проводилось измерение расходов в сечениях  $L_1$  и  $L_2$  при одинаковых режимах работы вентиляторов.

На тракте вытяжного воздуха установлена заглушка, поэтому расход в сечении  $L_2$  фактически является расходом воздуха, пропускаемым уплотнением теплового утилизатора между приточным и вытяжным каналами ( $L_2 = \Delta L$ ).

В результате проведённых измерений было определены значения перетока воздуха из приточного тракта в вытяжной. Для уплотнителя «тип 1» это значение составило 6%, а для «тип 2» — 3%. Как видно из результатов эксперимента, предлагаемый к реализации уплотнитель предотвращает переток воздуха, что приводит к снижению эксплуатационных затрат.

**Оценка энергетического эффекта от применения уплотнения «тип 2»**

Снижение перетока воздуха приводит к уменьшению количества воздуха, нагнетаемым приточным вентилятором, так как для соблюдения санитарно-гигиенических требований необходимо учитывать переток воздуха, что ведёт к увеличению общего расхода приточного воздуха [3].

Для предложенной конфигурации приточно-вытяжной установки можно установить совокупный годовой энергосберегающий эффект от применения уплотнения «тип 2» при условии перетока воздуха из приточного тракта в вытяжной:

$$\Delta \Theta = \frac{(\Delta L_{p, \text{тип1}} - \Delta L_{p, \text{тип2}}) p}{\eta_v} \tau,$$

где  $\Delta L_p$  — расчётный переток воздуха исходя из режима работы установки для соответствующего типа уплотнения, м³/ч;  $p$  — давление, создаваемое в тракте приточного воздуха на выходе из установки (сопротивление сети), Па;  $\eta_v$  — КПД вентиляторной группы приточного воздуха;  $\tau$  — годовое время работы вентиляционной установки, ч;  $\Delta \Theta$  — электрическая энергия, затрачиваемая на перекачку дополнительного расхода воздуха из-за утечек в вытяжной тракт, кВт·ч.

Для оценки энергосберегающего эффекта целесообразно представить результат использования уплотнителя «тип 2» в количестве условного топлива. Для перевода единиц измерения использован удельный расход условного топлива (у.т.)  $b_3 = 0,3445$  кг у.т./кВт·ч [4].



Однако в ряде случаев более наглядно будет представить полученный эффект от использования уплотнителя «тип 2» в денежном эквиваленте, что позволит оценить инвестиционную привлекательность применения данного уплотнителя.

Для расчёта экономического эффекта нужно располагать актуальными тарифами на электроэнергию, и в рамках настоящей статьи для расчёта были использованы актуальные тарифы энергоснабжающей организации.

В качестве объекта, на котором реализованы приточно-вытяжные установки в комплекте с роторными регенераторами теплоты, укомплектованными уплотнителями «тип 2», был рассмотрен многофункциональный комплекс переменной этажности с подземной автостоянкой в городе Москве. Характеристики объекта представлены в табл. 1.

Результаты расчётов энергетического и финансового эффектов по рассмотрен-

ному многофункциональному комплексу за год сведены в табл. 2. Необходимо отметить, что при расчёте была принята работа установок в двухсменном режиме круглогодично.

Результаты, представленные в табл. 2, позволяют говорить о целесообразности использования уплотнения «тип 2» в роторных регенераторах теплоты. Показатели, отнесённые к 1 м³ перекачанного приточного воздуха, позволяют оценить энергосберегающий эффект от замены или первоначальной установки уплотнителя «тип 2» в сравнении с уплотнителем «тип 1» на объектах подобного рода в Москве.

**Заключение**

В результате сравнения различных видов уплотнений было определено, что уплотнитель «тип 2» является более герметичным, чем уплотнитель «тип 1». Переток воздуха составляет 3% для уплотнителя «тип 2» и 6% для уплотнителя «тип 1». Данный факт позволяет говорить о снижении количества перетекаемого воздуха, что приводит к повышению санитарно-гигиенических и энергетических показателей установок.

Для оценки использования уплотнителя «тип 2» на административных объектах в Москве (при условии двухсменной работы установки круглый год) представлен удельный показатель экономии, выраженный в рублях на 1 м³ перекачанного воздуха. При одноставочном тарифе на момент написания статьи удельный показатель экономии составил 0,22 руб/м³. Необходимо отметить, что получить актуальный или относящийся к конкретному региону удельный показатель экономии возможно, если известен тариф. Для этого приведён удельный показатель, выраженный в натуральных единицах, то есть затраты электроэнергии [кВт·ч/м³] на перекачку 1 м³ приточного воздуха. ●

**В результате сравнения различных видов уплотнений определено, что уплотнитель «тип 2» более герметичный, чем уплотнитель «тип 1». Переток воздуха составляет 3% для уплотнителя «тип 2» и 6% для «тип 1»**

Характеристики многофункционального центра

табл. 1

Наименование показателя	Значение
Тип здания	Административное
Объём здания, м³	259 300
Общая тепловая нагрузка индивидуального теплового пункта (ИТП), Гкал/ч	7,049
Тепловая нагрузка от системы вентиляции, Гкал/ч	4,806
Количество приточно-вытяжных установок с роторным регенератором, шт.	17
Общая производительность приточной части, м³/ч	259 200
Сопротивление сети (среднее), Па	462

Энергетический и экономический эффекты от использования уплотнения «тип 2»

табл. 2

$\Delta \Theta$ , кВт·ч	$\Delta_3$ , кВт·ч/м³	У.т., кг	У.т., г/м³	Экономия, руб.	Экономия, руб/м³
8068	0,03	2779	10,72	56393	0,22

- СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализ. ред. СНиП 41-01-2005 / Дата введ.: 01.07.2021.
- Андронов Ф.И. Роторные регенераторы для систем вентиляции и кондиционирования: Сделано в России // Журнал СОК, 2022. №7. С. 52–54.
- Eurovent 6/15–2021. Air leakages in air handling units: Guidelines for improving indoor air quality and correcting performance. Eurovent Industry Recommendation (Code of Good Practice). Eurovent. Brussels, Belgium. 2021. 33 p.
- Об утверждении методических рекомендации по определению в сопоставимых условиях целевого уровня снижения государственными (муниципальными) учреждениями суммарного объёма потребляемых ими дизельного и иного топлива, мазута, природного газа, тепловой энергии, электрической энергии, угля, а также объёма потребляемой ими воды: Приказ Минэкономразвития России от 15.07.2020 №425 (ред. от 05.02.2024).  
References — see page 80.





## ТЕПЛО и ЭНЕРГЕТИКА HEAT & ELECTRO

29–31.10.2024

Москва | ЦВК «Экспоцентр» | Павильон №91

Международная выставка  
энергетического оборудования для  
теплоснабжения и электрогенерации  
на промышленных предприятиях  
и муниципальных объектах



[heatelectro.ru](http://heatelectro.ru)

COMSOL  
MULTIPHYSICS

# Моделирование и исследование в ПО COMSOL Multiphysics электрохимического метода получения водорода для коммунального и бытового применения

Рецензия эксперта на статью получена 14.06.2024 [The expert review of the article was received on June 14, 2024]

## Введение

Одной из важных задач XXI века является борьба с изменением климата. Для достижения среднесрочной цели — не допустить повышения глобальной температуры на 3°C к середине столетия — необходимо добиваться нулевого выброса парниковых газов. В 2019 году был принят план декарбонизации экономики Евросоюза, известный как «Зелёная сделка» (The European Green Deal), в рамках которого поставлена задача перехода от использования ископаемых к возобновляемым источникам энергии и сырья в странах ЕС к 2050 году. В России также были достигнуты высокие темпы развития ВИЭ-генерации. Так, в 2021 году объём ввода в эксплуатацию новых объектов ВИЭ в нашей стране превысил 1,2 ГВт. Начиная с февраля 2022 года цели декарбонизации и темпы развития ВИЭ в России получили дополнительный стимул в виде ускоренного замещения импортных компонентов оборудования российскими [1].

Однако растущие энергетические потребности вряд ли могут быть удовлетворены простой заменой традиционных источников энергии известными ВИЭ, которые характеризуются прерывистостью

характера генерации и проблемой хранения энергии на длительный срок. Технологические процессы производства водорода (H<sub>2</sub>) как энергоносителя достаточно стабильны и позволяют минимизировать или полностью исключить выделение парниковых газов. В связи с этим водород, как возобновляемый и экологически безопасный источник энергии, может стать в ближайшее время основной альтернативой традиционным видам топлива.

В 2021 году Правительством РФ среди прочих документов по декарбонизации была утверждена «Концепция развития водородной энергетики». На первом этапе планируются разработка технологий и производство промышленной продукции для водородной энергетики, в том числе установок производства водорода и энергетических смесей на его основе из ископаемого сырья методами паровой конверсии природного газа и электролиза воды. В дальнейшем стоимость производства водорода на базе ВИЭ приблизится к стоимости производства водорода из ископаемого сырья, что позволит начать реализацию крупных проектов по производству и экспорту водорода, произведённого на базе ВИЭ [2].

УДК 661.931, 62–622. Научная специальность: 2.1.3 (05.23.03).

## Моделирование и исследование в ПО COMSOL Multiphysics электрохимического метода получения водорода для коммунального и бытового применения

**V. A. Suchilin**, д.т.н., профессор; **A. S. Kochetkov**, старший преподаватель; **N. N. Gubanov**, старший преподаватель, Российский государственный университет туризма и сервиса (РГУТиС, дп. Черкизово Московской области)

В последние годы особый интерес к водородной энергетике обусловлен интенсивным развитием топливных элементов, позволяющих преобразовать химическую энергию в электрическую. В связи с этим многие зарубежные компании и научные центры расширили исследования по созданию эффективных систем получения водорода в качестве альтернативного источника электроэнергии и топлива. Анализ подобных исследований показал, что перспективным является способ электролизно-водной генерации водорода (ЭВГ). Проведено моделирование и исследование функциональных характеристик двух типов ячеек ЭВГ в ПО COMSOL Multiphysics. Представлены сравнительные результаты их работоспособности и методы повышения эффективности генерирования водорода.

**Ключевые слова:** производство водорода, электролизно-водные генераторы, водно-щелочной электролиз, электролизные ячейки с нулевым зазором, моделирование в ПО COMSOL Multiphysics.

UDC 661.931, 62–622. Scientific specialty number: 2.1.3 (05.23.03).

## Modeling and research in COMSOL Multiphysics electrochemical method of hydrogen production for communal and domestic usage

**V. A. Suchilin**, Doctor of Technical Sciences, Professor; **A. S. Kochetkov**, senior lecturer; **N. N. Gubanov**, senior lecturer, Russian State University of Tourism and Service (RGUTIS, dp. Cherkizovo, Moscow region)

In recent years, special interest in hydrogen energy is due to the intensive development of fuel elements that allow to convert chemical energy into electric. In this regard, many foreign companies and scientific centers have expanded research to create effective hydrogen systems as an alternative source of electricity and fuel. The analysis of such studies showed that the method of hydrogen production by water electrolysis is promising. Modeling and study of the functional characteristics of two types of cells in the COMSOL Multiphysics were carried out. Comparative results of their performance and methods for increasing the efficiency of hydrogen generation are presented.

**Keywords:** hydrogen production, water electrolyzers, alkaline water electrolysis, zero gap alkaline electrolysis cell, modeling in COMSOL Multiphysics.



Хранение энергии может осуществляться с помощью нескольких типов систем накопления энергии (СНЭ): гидроаккумулирующих электростанций (более 90% мощности накопителей энергии в мире), литий-ионных аккумуляторов, проточных REDOX-батареи и других технологий и процессов, например, водородных.

Водородные СНЭ состоят из генератора водорода, систем его хранения и электрохимического генератора (ЭХГ), в котором из водорода вырабатываются тепловая и электрическая энергия. Один кубометр  $H_2$  содержит 3,6 кВт·ч энергии. При электролизном производстве водорода на 1 м<sup>3</sup> газа необходимо затратить до 5–6 кВт·ч электроэнергии, то есть эффективность составляет 50–70%. Применение электролизёров с жидкостным охлаждением даёт с одного кубометра водорода до 0,5–1,0 кВт·ч теплоты. Дополнительно эффективность работы ЭХГ можно повысить, если использовать получаемый в процессе генерации кислород.

Хранится водород в сжатом, сжиженном или связанном состоянии. При использовании водорода в топливных элементах электрический КПД ЭХГ не превышает 60%, но ещё до 35% теплового КПД можно получить при жидкостном охлаждении ЭХГ [3].

В последние годы особый интерес к водородной энергетике обусловлен также интенсивным развитием топливных элементов, позволяющих с высоким КПД преобразовать химическую энергию в электрическую. Анализ публикаций показывает, что многие зарубежные компании и научные центры существенно расширили исследования по созданию эффективных систем получения, хранения и транспортировки водорода [4–5].

Существует несколько ведущих технологий производства водорода, но в последние годы получили распространение электрохимические способы получения водорода, к которым относятся такие электролизно-водные технологии, как водно-щелочной электролиз (Alkaline Water Electrolysis, AWE) и электролиз через протонообменную (полимерно-электролитную) мембрану (Proton Exchange Membrane, PEM), основным элементом которых является электролизно-водный генератор (ЭВГ).

Необходимо также отметить, что малогабаритные установки на основе электролизно-водных генераторов уже сегодня находят применение в различных областях коммунального хозяйства и сферы быта: при ремонте холодильного оборудования, сварке цветных металлов, в металлургии, микроэлектронике.



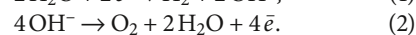
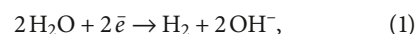
Производство водорода относится к высокому и наукоемким технологиям. Так, уже на первых стадиях проектирования ЭВГ необходимо решение ряда ключевых задач эффективности функционирования отдельных элементов установки, прежде всего, надёжности и КПД ячеек ЭВГ. Этими вопросами занимаются как отечественные, так и многие зарубежные исследователи [6–9].

Электролизно-водный способ получения водорода и кислорода основан на электрохимическом разложении воды при подаче электроэнергии. Однако электролитическое производство водорода требует значительного расхода электроэнергии, что являлось до последнего времени значительным сдерживающим фактором в расширении сферы использования этого способа. Но теперь благодаря усилиям исследователей достигнут определённый прогресс в снижении энергопотребления при генерации водорода и повышении эффективности использования ЭВГ [8–9].

Удельная электропроводность основного компонента электролизно-водной технологии — дистиллированной воды — недостаточно высока, что затрудняет процесс разложения её на составляющие. Поэтому в устройствах, работающих по технологии PEM, необходимо применение дорогостоящих катализаторов, и требуется вода высокой чистоты. Это делает данный способ более дорогостоящим по сравнению с другими [7].

**В последние годы получили распространение электрохимические способы получения водорода, к которым относятся такие электролизно-водные технологии, как водно-щелочной электролиз и электролиз через протонообменную (полимерно-электролитную) мембрану**

Технология AWE использует не чистую дистиллированную воду, а водные растворы щелочей, кислот и солей. Чаще всего применяются растворы КОН и NaOH. При протекании электрического тока между электродами ячейки ЭВГ в среде электролита на катоде выделяется водород, а на аноде — кислород в соответствии со следующими уравнениями химических реакций:



При разработке ЭВГ значительная часть задач эффективности его работы может решаться ещё на этапе моделирования и исследования функциональных характеристик отдельных элементов — генерирующих водород ячеек. Так, результаты исследователей ЭВГ [6, 8–9] показывают, что большая часть потерь электрической энергии при электролизе приходится на сопротивление электролита и на перенапряжение на электродах ячеек. Потери в электролите зависят в основном от состава электролита, его электропроводности и протяжённости ионной цепи между электродами. Электропроводность щелочного электролита (растворы КОН или NaOH) повышается с увеличением температуры раствора и концентрации щёлочи. Однако это происходит до определённого уровня температуры и требует постоянного контроля. Электропроводность раствора КОН в сопоставимых условиях выше, чем у раствора NaOH.

Потери на перенапряжение в электродах зависят от материала электродов, состояния рабочей поверхности, плотности тока, температуры электролита и других факторов. Обычно электроды изготавливаются из металла с армированием рабочих поверхностей на основе использования технологий напыления или электролитического отложения слоя никеля, что снижает их эрозию и повышает ресурс [6].

В типовых ЭВГ электроды ячейки разделены между собой диафрагмой, создавая две внутренние полости — катодную и анодную. Газы, выделяемые при электролизе, отводятся в верхние зоны разделённых полостей ячейки. От расстояния между электродами в ячейке зависит величина электрического сопротивления электролита и, следовательно, плотность тока и эффективность процесса газовой деления в ячейках ЭВГ. Кроме того, при электролизе в АВЕ-ячейках пузырьки образующихся газов приводят к снижению электропроводности электролита, что негативно сказывается на производительности процесса. Важно определить пути минимизации этих явлений. Например, при сближении электродов в ячейке отсутствие пузырьков между ними также может дать положительный эффект.

Таким образом, АВЕ-технология производства водорода, уже хорошо зарекомендовавшая себя в промышленных процессах, несмотря на отмеченные выше недостатки, уверенно находит применение и в коммунальном хозяйстве и бытовом обслуживании. Однако получение водорода этим способом всё ещё требует оптимизации параметров процесса.

За рубежом проводятся исследования модифицированной АВЕ-ячейки с нулевым зазором между электродами и диафрагмой ЭВГ (The Zero Gap Configuration of AWE, ZGAWЕ). Предлагается также использовать для электродов ZGAWЕ ячейек пористые материалы, например, пористый никель, что существенно влияет на процесс электролиза [10–12].

Таким образом, производство водорода по технологии ZGAWЕ, как отмечают указанные авторы, обеспечивает более высокую плотность тока на электродах за счёт уменьшения сопротивления электролита, что способствует повышению эффективности ЭВГ щелочного типа до уровня более дорогой технологии PEM.

В связи с этим целью данного исследования водно-щелочной электролиза является разработка математических моделей (цифровых двойников) АВЕ и ZGAWЕ вариантов ячейек и сравнение их функциональных характеристик.

Для решения этой задачи используется ПО COMSOL Multiphysics, которое имеет необходимый набор интерфейсов для моделирования генерации и трансляции водорода и других газов в ячейках ЭВГ, а библиотека материалов COMSOL включает характеристики нужных материалов, в том числе электролитов и пористых металлических электродов, что позволяет решать инженерные задачи любой сложности методом конечных элементов.

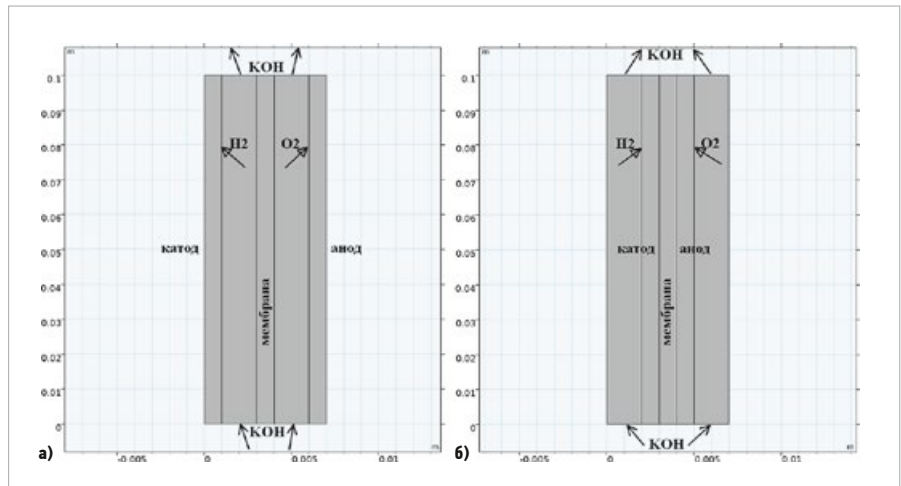


Рис. 1. Геометрия и конструктивные элементы ячейек (а — модель 1, б — модель 2)

**Исследуемая модель и результаты**

Упрощённая конструкция ячейек включает пару электродов, разделительную мембрану и два канала, через нижнюю границу которых на вход ячейки поступает электролит, а верхняя служит для отвода газообразных продуктов электролиза в потоке электролита на выходе из ячейки. На рис.1 представлены двумерные модели АВЕ и ZGAWЕ ячейек и отмечены указанные элементы конструкции. Геометрические параметры ячейек: толщина мембраны — 0,001 м, толщина электродов — 0,001 м, диаметр каналов — 0,002 м, высота ячейки — 0,1 м. Модели ячейек АВЕ (рис.1а) и ZGAWЕ типа (рис.1б) различаются только взаимным расположением электродов и каналов: каналы между электродами (модель 1) или электроды между каналами (модель 2).

**Производство водорода по технологии ZGAWЕ обеспечивает более высокую плотность тока на электродах за счёт уменьшения сопротивления электролита, что способствует повышению эффективности ЭВГ щелочного типа до уровня технологии PEM**

Физическая модель электролиза воды на пористых поверхностях электродов при движении электролита в каналах ячейки основывается на нескольких сопряжённых интерфейсах. Интерфейс водного электролизёра Water Electrolyzer определяет перенос заряжённых ионов в электролите и токопроводящих электродах, используя закон Ома в сочетании с балансом заряда. Учитываются активационные перенапряжения, а связь между переносом заряда и перенапряжением описывается уравнением Батлера — Фольмера.

Основные физические параметры модели для этого интерфейса — это концентрация электролита  $c_l = 6 \times 10^3$  моль/м<sup>3</sup> и начальное содержание электролита в объёме мембраны и электродов, которое определяется их пористостью  $\epsilon_s = 0,5$  и  $\epsilon_{el} = 0,75$ , соответственно, а также электропроводности электродов  $\sigma_{el}$  (равная  $1 \times 10^6$  См/м) и электролита  $\sigma_l$ , которая зависит от концентрации и температуры.

Процесс газовой деления приносит поправку в эффективную проводимость электролита  $\sigma_{l,eff}$  так, что она зависит от объёмной доли газа  $\phi$  и объёмной проводимости электролита  $\sigma_l$  согласно корреляции Брюггемена:

$$\sigma_{l,eff} = \sqrt{(1-\phi)^3} \sigma_l \tag{3}$$

В интерфейсе Laminar Flow ламинарное течение раствора электролита в каналах ячейки задаётся скоростью на входе  $v_{in} = 0,01$  м/с и давлением на выходе  $p_{out} = 2,53 \times 10^6$  Па.

Интерфейс Darcy's Law описывает движение электролита в пористых электродах под действием давления и силы тяжести по закону Дарси:

$$\mathbf{u} = -\frac{\kappa}{\mu} \nabla(p - \rho g), \tag{4}$$

где поле скорости электролита  $\mathbf{u}$  определяется проницаемостью  $\kappa = 1 \times 10^{-10}$  м<sup>2</sup>, динамической вязкостью  $\mu$  и плотностью  $\rho$  жидкости, а также градиентом давления  $p$ . Величины  $\mu$  и  $\rho$  задаются в свойствах раствора КОН из библиотеки материалов COMSOL как функции температуры и концентрации. В интерфейсе Phase Transport in Free and Porous Media Flow раствор электролита с пузырьками газов, образовавшихся при электролизе воды, моделируется как двухфазная жидкость, занимающая все домены, кроме разделительной мембраны.



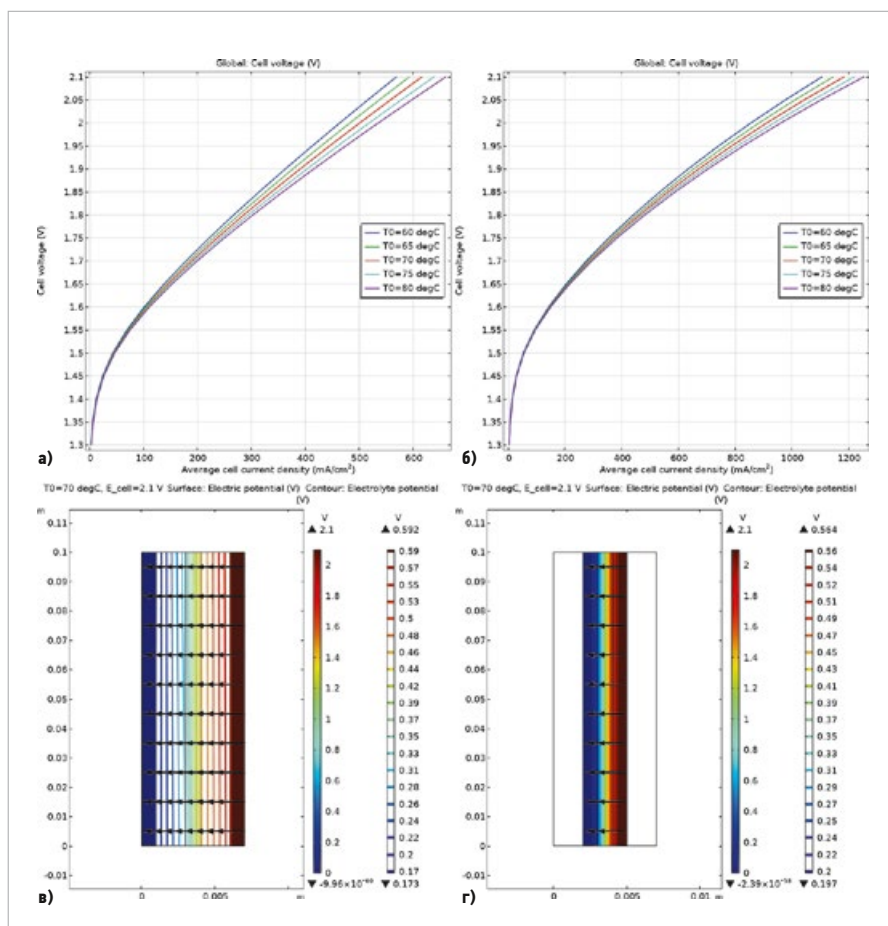


Рис. 2. Сравнение электрических характеристик ячеек [а — поляризационные кривые (модель 1), б — то же (модель 2), в — распределение электрического потенциала электродов и потенциала электролита (модель 1), г — то же (модель 2)]

Массовая выработка  $H_2$  и  $O_2$  в единицу времени задаётся уравнением Фарадея:

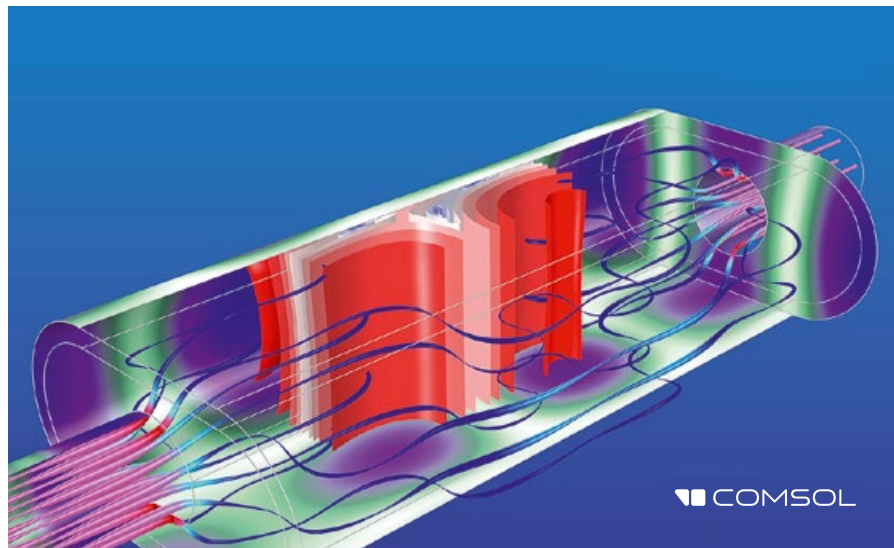
$$\dot{m} = \frac{M}{nF} I_{el}, \quad (5)$$

где  $M$  — молярная масса газа (2,02 и 32 г/моль, соответственно);  $n$  — число участвующих в реакции электронов (для катода — два электрона, для анода — четыре);  $F = 9,65 \times 10^4$  Кл/моль — число Фарадея;  $I_{el}$  — объёмная плотность тока на электродах. Таким образом, для каждого из каналов рассчитываются объёмные доли газов  $\Phi_{H_2}$  и  $\Phi_{O_2}$ .

Изменение рабочей температуры влияет на производительность ячейки, поэтому учитывается выделение теплоты в процессе электролиза с помощью интерфейса Heat Transfer in Fluids.

На рис. 2 представлены результаты параметрического исследования моделей 1 и 2 с начальной температурой  $t_0$ , изменяющейся от 60 до 80 °C с шагом 5 °C. Электрический потенциал на аноде  $\Phi$  изменяется от 1,3 до 2,1 В с шагом 0,05 В. На рис. 2а поляризационные кривые для каждого из указанных значений начальной температуры AWE-ячейки показывают изменение средней плотности тока на аноде в зависимости от приложенного потенциала. Видно, что средняя плотность тока в ячейке  $I$  увеличивается от

минимальной (около 2,5–2,6 мА/см<sup>2</sup>) до максимальных значений  $I = 570$  (при  $t_0 = 60$  °C) и 663,62 мА/см<sup>2</sup> (при  $t_0 = 80$  °C). Таким образом, при постоянной плотности тока увеличение начальной температуры приводит к уменьшению электрического потенциала на аноде и, следовательно, к росту производительности ячейки. Это объясняется тем, что при повышении температуры увеличивается скорость электрохимических реакций, что вызывает более высокую плотность обменного тока и меньшую потерю напряжения.



Аналогичное исследование для ячейки ZGAWЕ представлено на рис. 26. Видно, что отмеченная выше зависимость напряжения в ячейке от начальной температуры сохраняется. Кроме того, средняя плотность тока в ячейке в зависимости от приложенного потенциала увеличивается быстрее и достигает больших значений, чем в предыдущем случае: от минимальной (около 2,6–2,7 мА/см<sup>2</sup>) до максимальных значений  $I = 1105,9$  (при  $t_0 = 60$  °C) и 1254 мА/см<sup>2</sup> (при  $t_0 = 80$  °C), что означает почти двукратный прирост по сравнению с моделью 1. Следовательно, для достижения одинаковой плотности тока в AWE- и ZGAWЕ-ячейках во второй из них требуется приложить меньший электрический потенциал. Итак, конструкция ячейки с нулевым зазором обеспечивает меньшую потерю напряжения за счёт сопротивления электролита и более высокую плотность тока на аноде, что приводит к лучшей производительности ячейки.

Данный вывод подтверждается в том числе рис. 2в–г, которые показывают распределение электрического потенциала электродов и потенциала электролита в AWE- и ZGAWЕ-ячейках. Для начальной температуры  $t_0 = 60$  °C и приложенного потенциала на аноде  $\Phi = 2,1$  В максимальные значения потенциала электролита в ячейках равны 0,598 и 0,571 В, соответственно. При  $t_0 = 70$  °C эти величины равны 0,592 и 0,564 В, а при  $t_0 = 80$  °C равны 0,586 и 0,557 В, соответственно. Таким образом, величина наведённого потенциала в электролите уменьшается с ростом температуры, что означает снижение потерь за счёт сопротивления электролита в ячейках обоих типов. В то же время при прочих равных условиях потенциал электролита в модели 2 ниже, чем в модели 1, что подтверждает преимущество ячейки с нулевым зазором.

На рис. 3 представлены результаты параметрического исследования функциональных характеристик моделей 1 и 2 для некоторых значений начальной температуры ячейки при изменении потенциала на аноде в указанном выше диапазоне. На рис. 3а показаны линии поля скорости потока газов, выделяющихся на электродах AWE-ячейки. Легенда графика выражает доли газовых фракций водорода  $\varphi_{H_2}$  и кислорода  $\varphi_{O_2}$  в объёме электролита в каждом из соответствующих каналов. Видно увеличение долей выделяющихся при электролизе газов снизу-вверх вдоль поверхности электродов и накопление их в верхней части ячейки. Для начальной температуры  $t_0 = 60^\circ C$  и приложенного потенциала  $\Phi = 2,1$  В величина  $\varphi_{H_2}$  возрастает от минимальной  $1,93 \times 10^{-3}$  на входе в ячейку до максимальной 0,147 на выходе. Доля сопутствующего газа  $O_2$  в параллельном канале также растёт до значения  $\varphi_{O_2} = 0,088$  на выходе из ячейки. При увеличении начальной температуры выход газов возрастает. Например, при  $t_0 = 70^\circ C$  доля  $H_2$  возрастает до максимальной  $\varphi_{H_2} = 0,156$ , а доля  $O_2$  — до  $\varphi_{O_2} = 0,096$ , а при  $t_0 = 80^\circ C$  эти доли составляют 0,162 и 0,105, соответственно.

Для ZGAWE-ячейки аналогичное исследование представлено на рис. 3б. При одинаковых линейных размерах ячеек и начальных условиях отмеченный выше рост долей газовых фракций вдоль поверхности электродов от входа к выходу в модели 2 усиливается, а их значения увеличиваются. Так, при начальной температуре  $t_0 = 60^\circ C$  величина  $\varphi_{H_2}$  возрастает от минимальной  $4,89 \times 10^{-3}$  внизу до максимальной 0,247 вверху ячейки, а  $\varphi_{O_2}$  увеличивается до 0,152 на выходе из ячейки. При увеличении начальной температуры выход газов возрастает быстрее и достигает больших значений, чем в предыдущем случае: при  $t_0 = 70^\circ C$  доля  $H_2$  возрастает до максимальной  $\varphi_{H_2} = 0,257$ , а доля  $O_2$  — до  $\varphi_{O_2} = 0,165$ , а при  $t_0 = 80^\circ C$  эти доли составляют 0,263 и 0,177, соответственно. Следовательно, из двух типов ячеек производительность ячейки с нулевым зазором выше.

Это подтверждается рис. 3в-г, которые показывают распределение доли выделившегося в процессе электролиза водорода в верхнем сечении AWE- и ZGAWE-ячеек. Расстояние до поверхности катода отсчитывается в направлении от внутренней границы канала в случае AWE-ячейки (рис. 3в) и от его внешней границы для ZGAWE-ячейки (рис. 3г). В обоих случаях наблюдается рост выделения водорода от минимального уровня, соответствующего расстоянию до катода

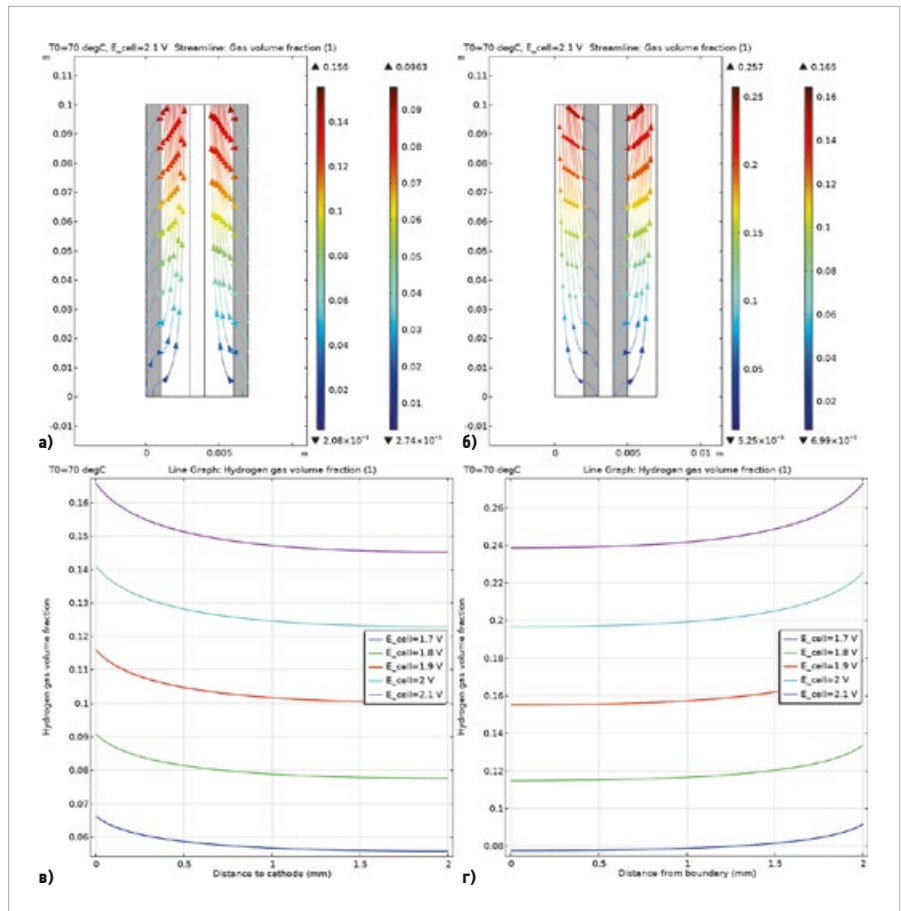


Рис. 3. Сравнение функциональных характеристик ячеек в зависимости от потенциала (а — линии поля скорости и доли газовых фракций  $H_2$  и  $O_2$  в объёме электролита (модель 1), б — то же (модель 2), в — распределение доли газовой фракции  $H_2$  по ширине верхнего сечения канала (модель 1), г — то же (модель 2))

на величину диаметра канала (2 мм), до максимального на поверхности катода. Для начальной температуры  $t_0 = 70^\circ C$  при изменении приложенного потенциала на аноде  $\Phi$  от 1,7 до 2,1 В с шагом 0,1 В максимальные значения доли  $H_2$  растут от 0,066 до 0,166 в AWE-ячейке и от 0,092 до 0,273 в ZGAWE-ячейке. Таким образом, из двух типов ячеек эффективность ячейки с нулевым зазором выше при каждом значении рабочего напряжения, причём с его увеличением доля  $H_2$  на выходе из ZGAWE-ячейки также растёт быстрее.

### COMSOL Multiphysics. Справка

COMSOL Multiphysics — это программный пакет для численного моделирования, основанный на методе конечных элементов. Это ПО позволяет проводить мультифизическое моделирование веществ, материалов и процессов, в том числе связанные явления. Программное обеспечение COMSOL и соответствующая компания были созданы в 1986 году в Королевском технологическом институте (KTH) в Стокгольме, Швеция. Первая версия COMSOL Multiphysics была выпущена в 1998 году.

На рис. 4 представлены результаты параметрического исследования функциональных характеристик моделей 1 и 2 для при изменении значений начальной температуры ячейки для некоторых значений потенциала на аноде из указанного выше диапазона. Рис. 4а-б показывают массовую выработку  $\dot{m}$  выделившегося в процессе электролиза водорода на выходе из AWE- и ZGAWE-ячеек, соответственно. Видно, что  $\dot{m}$  растёт в зависимости от температуры  $t_0$  при каждом значении рабочего напряжения  $\Phi$  в диапазоне 1,7–2,1 В, причём при большем заданном значении  $\Phi$  скорость возрастания  $\dot{m}$  увеличивается. При этом величина  $\dot{m}$  для ячейки с нулевым зазором выше на всём интервале начальных температур. Например, при потенциале на аноде  $\Phi = 2,1$  В  $\dot{m}$  изменяется от 0,319 (при  $t_0 = 60^\circ C$ ) до 0,368 мг/с при ( $t_0 = 80^\circ C$ ) в модели 1, а при тех же начальных условиях — от 0,579 до 0,655 мг/с в модели 2. Таким образом, производительность ZGAWE-ячейки выше в среднем на 80%.

Однако в процессе электролиза рабочая температура ячейки  $t$  растёт по сравнению с заданной начальной  $t_0$ , что влияет на функциональные характеристики ячейки. На рис. 4в-г дано распределение температуры в объёме ячеек в моделях 1



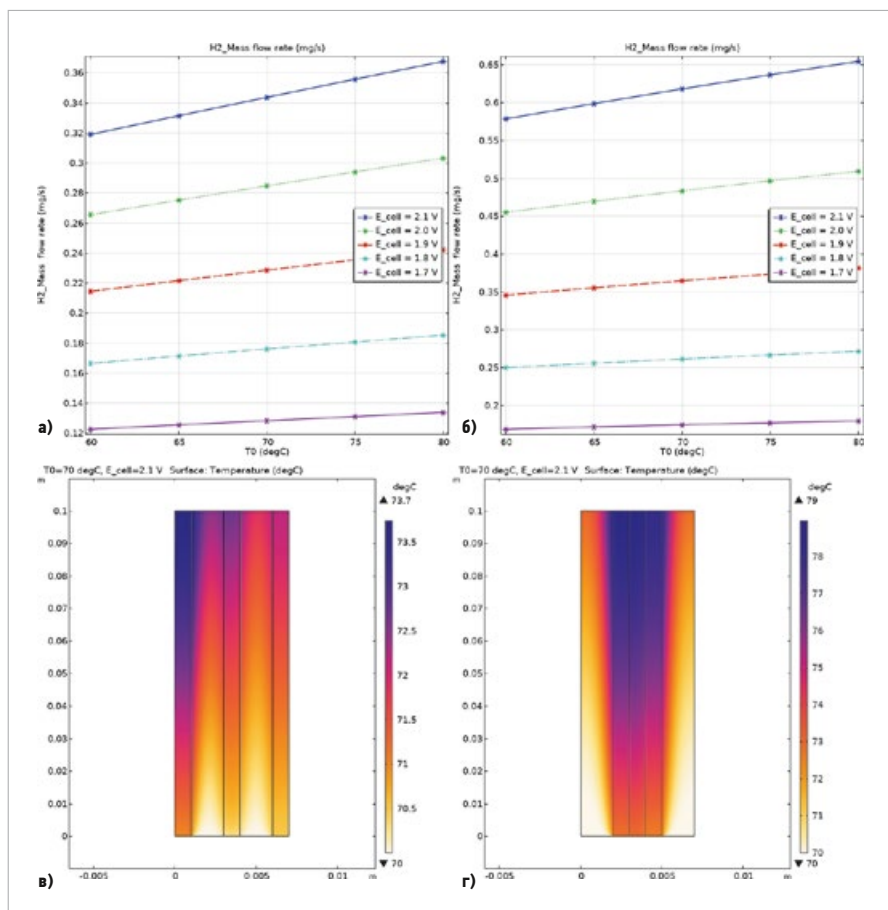


Рис. 4. Сравнение функциональных характеристик ячеек в зависимости от температуры [а — массовая выработка  $H_2$  на выходе из ячейки (модель 1), б — то же (модель 2), в — распределение температуры в объёме ячейки (модель 1), г — то же (модель 2)]

и 2, установившееся в результате отсутствия теплообмена через границы домена ячейки при  $t_0 = 70^\circ C$  и  $\Phi = 2,1$  В. Видно, что значения  $t$  увеличиваются снизу-вверх, причём температура электродов выше, чем в каналах электролита. При этом распределение  $t$  для AWE-ячейки несимметрично с областью повышенной температуры на катоде до  $73,7^\circ C$  в его верхней части, что объясняется более интенсивным процессом образования пузырьков газа на катоде (рис. 3а) и, следовательно, ростом сопротивления в объёме электролита.

При тех же начальных условиях распределение  $t$  для ZGAWE-ячейки практически симметрично со значительным превышением температуры на электродах по сравнению с каналами электролита. Это объясняется затруднённым конвективным теплообменом электродов, разделённых только мембраной, и расположением каналов вдоль внешней границы электродов. Максимальное значение  $t = 79^\circ C$  на верхней границе ячейки модели 2 значительно выше, чем в модели 1.

Для обеспечения стабильности функциональных параметров ячеек необходима вынужденная конвекция через их границы, особенно в модели 2, то есть дополнительное охлаждение в конструкции ячеек.

### Заключение

1. Целью исследования водно-щелочного электролиза в AWE- и ZGAWE-ячейках было повышение эффективности производства водорода за счёт снижения внутреннего сопротивления электролита ячеек ЭВГ. Использовался метод численного моделирования в среде ПО COMSOL Multiphysics, позволяющего проводить исследования сложных технических процессов с необходимой точностью.

2. Показано, что поляризационные кривые, характеризующие уменьшение ионной проводимости электролита при образовании пузырьков водорода и кислорода на электродах, растут медленнее для ZGAWE-ячейки. Таким образом, ячейка с нулевым зазором между диафрагмой и электродами обеспечивает меньшую потерю напряжения за счёт снижения сопротивления электролита и более высокую плотность тока на аноде, что приводит к повышению производительности электролизно-водного генератора.

3. На основе параметрического исследования функциональных характеристик моделей AWE и ZGAWE для ряда значений начальной температуры ячейки и при изменении электрического потенциала на аноде в указанном диапазоне установлено, что газовыделение в модели 2 возрастает более интенсивно. Следовательно, из двух

типов ячеек производительность ячейки с нулевым зазором выше.

4. В то же время для ячейки ZGAWE установлено некоторое превышение температуры на электродах. Это объясняется затруднённым конвективным теплообменом электродов, разделённых только мембраной, и расположением каналов вдоль внешней границы электродов. Максимальное значение  $t = 79^\circ C$  на верхней границе модели ZGAWE значительно выше, чем в модели AWE. Для стабильности функциональных параметров ячеек необходимо обеспечить возможность охлаждения элементов их конструкции и регулирование процесса в определённом диапазоне температуры.

5. Моделирование в ПО COMSOL Multiphysics процессов водно-щелочного электролиза стандартной ячейки AWE и ячейки с нулевым зазором ZGAWE позволило разработать математические модели (цифровые двойники) современных технологий получения водорода, что не только расширяет понимание применения их в условиях реального производства, но и намечает пути повышения эффективности функционирования промышленных установок ЭВГ.

1. Рынок возобновляемой энергетики РФ: текущий статус и перспективы развития. Часть 1 // Журнал СОК. 2023. №4. С. 68–78.
2. Об утверждении «Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации»: распоряжение Правительства РФ от 05.08.2021 №2162-р.
3. Карасевич В.А. Использование систем накопления энергии для хранения энергии в автономных энергосистемах // Журнал СОК. 2023. №7. С. 68–70.
4. Khan T., Yu M., Waseem M. Review on recent optimization strategies for hybrid renewable energy system with hydrogen technologies: State of the art, trends and future directions. International Journal of Hydrogen Energy. 2022. Vol. 47. Issue 60.
5. Pleshivtseva Yu., Derevyanov M., Pimenov A., Rapoport A. Comparative analysis of global trends in low carbon hydrogen production towards the decarbonization pathway. International Journal of Hydrogen Energy. 2023. Vol. 48. Issue 83.
6. Варламов И.В., Феоктистов Н.А. Системы электропитания и управления электролизно-водными генераторами: монография. — М.: Изд.-торг. корп. «Дашков и Ко». 2012. 202 с.
7. Миронов Е.А. Моделирование и управление процессами производства водорода на основе электролиза // Вестник СамГТУ. Серия: Технические науки, 2023. Т. 31. №2. С. 70–84.
8. Wang T., Cao X., Jiao L. PEM water electrolysis for hydrogen production: fundamentals, advances, and prospects. Carbon Neutrality. 2022. Vol. 1. Issue 21.
9. Li W., Tian H., Ma L., Wang Y., Liu X., Gao X. Low-temperature water electrolysis: fundamentals, progress, and new strategies. Materials Advances. 2022. Vol. 3. Issue 14.
10. Phillips R., Dunnill Ch.W. Zero gap alkaline electrolysis cell design for renewable energy storage as hydrogen gas. RSC Advances. 2016. Vol. 6.
11. Wong X.Yi., Zhuo Y., Shen Y. Numerical analysis of hydrogen bubble behavior in a zero-gap alkaline water electrolyzer flow channel. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2021. Vol. 60. Issue 33.
12. Prasanth S.M. High fidelity multiphase modelling of hydrogenics in zero gap alkaline water electrolyzer. Web-source: comsol.com. Access date: June 10, 2024.

References — see page 80.



# Усовершенствованные геотермальные системы: системный обзор

Вниманию читателя предлагается обзорная статья по состоянию и проблематике технологии «усовершенствованных геотермальных систем» (EGS), представляющей собой наиболее перспективное направление развития мировой геотермальной энергетики.

**Перевод:** Г.Б. БАДАВОВ, старший научный сотрудник, Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики (ИПГВЭ) — филиал Объединённого института высоких температур (ОИВТ) РАН, г. Махачкала

Примечание: автор выражает искреннюю благодарность ведущему инженеру ИПГВЭ Светлане Ивановне Володиной за помощь в редактировании перевода.

## 1. Введение

Технологии «усовершенствованных геотермальных систем» (Enhanced Geothermal System, EGS) относятся к петротермальной энергетике и представляют собой метод получения тепловой энергии из земной коры посредством пропускания закачиваемой жидкости через зону повышенной проницаемости в горячих скальных породах на большой глубине.

Технологические усовершенствования в данном случае достигаются за счёт следующих факторов:

1. Бурение на значительную глубину для достижения высоких температур.
2. Создание достаточной проницаемости в плотном скальном массиве для того, чтобы закачиваемая жидкость могла со значительными скоростями проходить через горячую породу глубоко в земной коре (цель состоит в передаче тепловой энергии от породы к жидкости без её чрезмерных потерь и рассеивания).
3. Извлечение тепловой энергии из полученного геотермального ресурса (жидкости и/или пара) для совершения полезной работы с высоким коэффициентом полезного действия, как с точки зрения выработки электрической энергии, так и с точки зрения отопления помещений зданий.

В этой статье перечислены методы визуализации и определения характеристик технологии усовершенствованных геотермальных систем, создания и производства таких систем, а также рассматриваются технологии, потенциально применимые для EGS. Кроме того, предпринят объективный подход к плюсам и минусам «традиционных» систем EGS.

Геотермальная энергетика может предоставить потребителю экологически безопасный, возобновляемый источник энергии, обладающий средним коэффициентом мощности примерно 74,5%. Благодаря применению технологий последнего поколения коэффициент мощности идеальной геотермальной установки может достигать 90% [1], и, таким образом, она может служить базовым источником энергообеспечения для нужд потребителей в конкретной местности. Согласно теоретическим расчётам, запасы энергии в верхнем десятикилометровом слое земной коры составляют приблизительно  $1,3 \times 10^{27}$  Дж, что эквивалентно тепловой энергии, выделяющейся при сжигании  $3,0 \times 10^{17}$  баррелей (158,9 л или 0,159 т) нефти [2].

**Геотермальная энергетика может предоставить потребителю экологически безопасный, возобновляемый источник энергии, обладающий средним коэффициентом мощности около 74,5% и могущий служить базовым источником энергообеспечения**

Как показано на рис. 1 (источник — [3]), установка EGS состоит из комплекса наземных и подземных сооружений. Наземная силовая установка составляет значительную долю от общей стоимости коммерческой установки EGS и является важным фактором, определяющим экономическую целесообразность всего EGS-проекта.

### Автор статьи-оригинала: Кейур Аджавалия (Keyur Ajwalia)

**Кейур Аджавалия** — дипломированный инженер в области машиностроения. В настоящий момент — инженер-испытатель (стажер) компании IAV Automotive Engineering, Inc. (г. Ингольштадт, Бавария, Германия). Образование: степень магистра Технического университета прикладных наук Ингольштадта (Technische Hochschule Ingolstadt); степень бакалавра Индийского университета (Indus University, г. Ахмедабад, штат Гуджарат, Индия); диплом Политехнического колледжа Лок Джангрути (LJ Polytechnic), филиала Университета Лок Джангрути Кендра (Lok Jagruti Kendra University, г. Ахмедабад, штат Гуджарат, Индия).

### Оригинал данного материала (на англ. языке):

Ajwalia K. A systematic review of enhanced geothermal system. Proc. of the 48<sup>th</sup> Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford, California, USA. February 6–8, 2023.



В настоящее время в США «традиционная» геотермальная энергетика обеспечивает 2,5 ГВт (электрической мощности), а потенциал производства электроэнергии из дополнительно выявленных ресурсов оценивается примерно в 9 ГВт(э) [4].

Там, где это возможно, традиционные геотермальные источники обеспечивают привлекательный по цене энергоресурс, который может быть базовым для энергообеспечения потребителей в данной местности, причём экономически конкурентоспособным без субсидий. EGS относятся к целому ряду перспективных направлений, расширяющих «традиционную» геотермальную энергетику. «Традиционная» геотермия зависит от наличия природных геотермальных вод, которые могут «перенести» тепло из недр на поверхность, однако необходимые гидротермальные ресурсы встречаются относительно редко, преимущественно в вулканических регионах с обилием подземных вод.

Мероприятия EGS варьируются от улучшения «традиционных» геотермальных систем, когда в существующую гидротермальную систему подкачивается жидкость (в дополнение к естественным водам), до радикальных мер, прежде всего «стимуляции» скальных массивов для создания в них проницаемости и отбора теплоты у глубинных «горячих сухих горных пород» (Hot Dry Rock, HDR), в которых не было бы естественного геотермального потенциала без искусственной закачки воды на большую глубину [5, 6].

## Геотермальный проект Project Red

Компания Fervo Energy (США), один из лидеров в области EGS, летом 2023 года объявила об успехе своего геотермального проекта Project Red, реализуемого в штате Невада. В ходе 30-дневного испытания эксплуатационной скважины был достигнут расход геотермального ресурса 63 л/с при температуре свыше 190 °С, что позволяет производить 3,5 МВт электроэнергии. Это заявлено как «новый геотермальный рекорд» — и по расходу, и по выходной мощности EGS. Специалисты Fervo первыми в мире успешно пробурили пару боковых горизонтальных скважин с длиной ствола более 990 м, достигнув температуры 191 °С и получив стабильный и контролируемый поток ресурса. Компания также внедрила на месторождении жёсткий протокол Министерства энергетики США (DoE) по снижению наведённой (техногенной, инициированной деятельностью человека) сейсмичности и завершила проект без происшествий. Результаты Fervo в рамках Project Red подтверждают выводы исследований DoE и показывают, что геотермальная энергия может обеспечить более 20 % потребностей Соединённых Штатов Америки в электроэнергии, дополнив ветровую и солнечную энергетику для полной декарбонизации сферы энергообеспечения этой страны.



Источник и фото: Fervo Energy, fervoenergy.com

Этот спектр мероприятий значительно увеличивает количество доступной тепловой энергии, при этом потенциальная генерирующая мощность всех подходов к EGS, по различным оценкам [4], только в США превышает 500 ГВт, что составляет почти половину текущей мощности всех источников энергии внутри страны [7].

Накопленный в настоящий момент практический опыт использования EGS выявил различные аспекты использования этих систем и помог определить технические проблемы, которые необходимо

решить для того, чтобы подходы к созданию EGS повысили ценность традиционных геотермальных ресурсов в США.

Ключевыми проблемами являются:

1. Возможность разрабатывать и внедрять методы воздействия, которые оптимизируют проницаемость и воздействие воды на горячую породу.
2. Возможность определять участки скважин, где особенности недр позволят обеспечить циркуляцию воды через горячую породу, достаточную для получения экономически выгодных объёмов добычи геотермального ресурса (воды или пара).
3. Возможность проектировать, бурить и эксплуатировать экономически окупаемые скважины во всё более сложных геологических средах, что особенно важно для досягаемости бурением глубинных горячих сухих пород (это самый предел «спектра технологий» EGS).

Министерство энергетики США (U.S. Department of Energy, DoE) заказало проведение данного исследования через Управление геотермальных технологий (Geothermal Technologies Office, GTO) при Управлении по энергоэффективности и ВИЭ (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy). В исследовании основное внимание уделялось:

1. Оценке технологий и подходов к визуализации строения недр и определению характеристик, чтобы оценить и подтвердить возможности EGS.
2. Оценке подходов к созданию площадок для EGS, включая научные и инженерные разработки, направленные на повышение проницаемости пород и увеличение коэффициента извлечения геотермального ресурса.

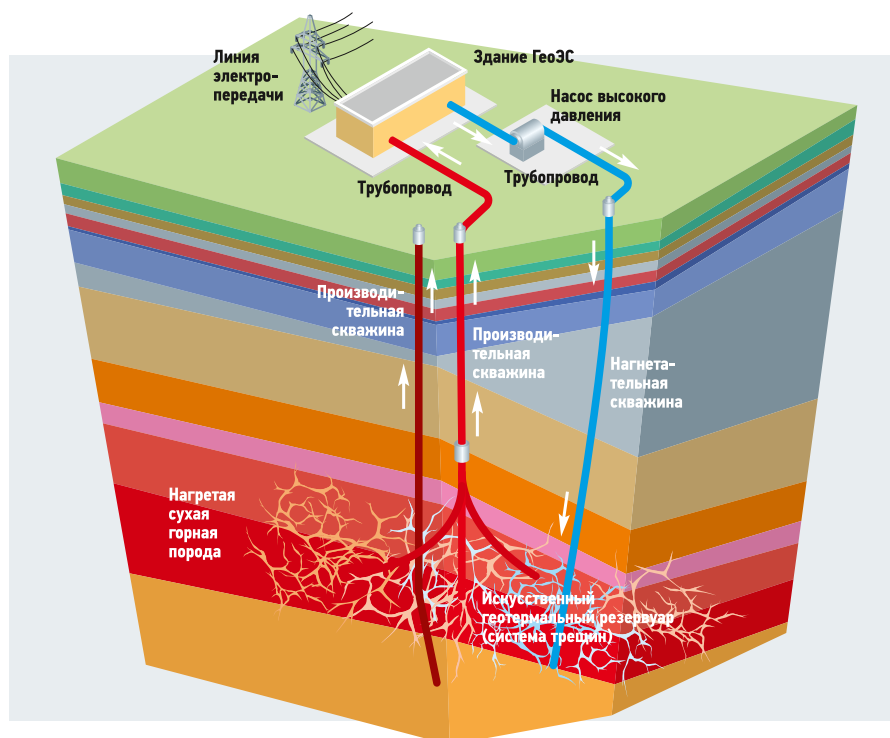


Рис. 1. Базовая схема геотермальной электростанции типа EGS [3]

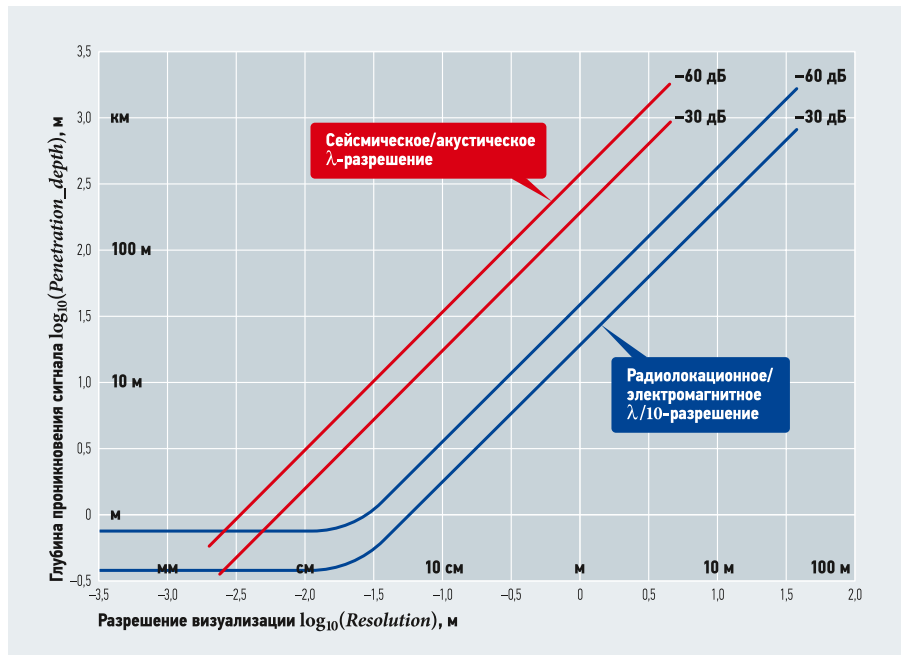
## 2. Методы визуализации и определения характеристик EGS

Министерство энергетики США проявляет широкий интерес к характеристикам недр, используя различные технологии для визуализации и мониторинга областей в земной коре [8]. Потребности технологии EGS значительно различаются в зависимости от типа недр, поэтому стоит определить их параметры:

1. Глубинные скальные массивы, которые рассматриваются для будущей стимуляции и отбора тепловой энергии.
2. Пространственная протяжённость и характеристики стимулируемого объёма глубинных пород.
3. Пространственно-временная эволюция скального массива, из которого извлекается тепло.

Например, ожидается, что стимуляция путём гидроразрыва пласта приведёт к образованию вертикальных трещин из-за основного нормального напряжения, возникающего вертикально на глубине, что и предполагается для нужд EGS-системы. По этой причине отражательная сейсмология широко используется при разведке нефтегазовых месторождений, поскольку она обеспечивает самое высокое разрешение визуализации на больших расстояниях, а также позволяет проводить визуализацию на глубине в плоскости, практически нормальной по направлению (близкой к 90°) относительно вертикальных трещин.

Существует определённая взаимосвязь между разрешением визуализации объектов, располагающихся в недрах, и расстоянием до них. На рис. 2 показаны типичная зависимость для высокочастотных сейсмических (акустических, кГц–МГц) и электромагнитных (МГц–ГГц) методов.



•• Рис. 2. Расчётные расстояния (глубина проникновения или дальность действия), на которых высокочастотная сейсмическая (акустическая) и электромагнитная (радиолокационная/электромагнитная) визуализация может обеспечить заданное разрешение для получения отражённых сигналов на три-шесть порядков меньшей магнитуды, чем распространяемых (-30 и -60 дБ)

Эти значения зависят от свойств пород, таких как скорость сейсмических волн и диэлектрическая проницаемость, причём последняя особенно чувствительна к присутствию влаги, поскольку является основным фактором при использовании метода подповерхностного радиолокационного зондирования (Ground-Penetrating Radar, GPR).

**Отражательная сейсмология широко используется при разведке нефтегазовых месторождений, поскольку она обеспечивает самое высокое разрешение визуализации на больших расстояниях**

Тем не менее, разрешение в несколько метров и менее, как правило, требует получения изображений на близких расстояниях (от десятков до сотен метров), что подразумевает размещение генераторов колебаний (излучателей) и приёмных датчиков вблизи интересующей области.

### 2.1. Визуализация с помощью датчиков фонового сейсмшума

Основным способом обеспечения нормального наклона (около 90°) вертикальных трещин на глубине является контроль с помощью определённого числа излучателей и сейсмодатчиков, размещаемых в недрах. Эта задача решается с помощью обычного бурения, а в будущем может быть значительно упрощена с помощью микробурения, которое подразумевает создание боковых наклонных микроскважин малого диаметра (менее 5 мм) и длиной не менее 50 м, разветвляющихся из основной обсадной глубинной скважины (для повышения проницаемости продуктивного массива), с помощью перспективных технологий, таких как микротурбинное бурение (Micro Turbine Drilling, MTD), идущее на смену обычному водяному радиально-струйному бурению (Radial Jet Drilling, RJD). Следует отметить, что важным достижением в сейсмологии является отказ от генераторов колебаний (излучателей). Например, слабое сейсмическое акустическое поле (фоновый сейсмический шум), присутствующее в земной коре, может использоваться в качестве сейсмического «дневного света», который как бы «освещает» подземные слои [9, 10].



•• ГеоЭС Hudson Ranch Power 1 (60 МВт, 500 ГВт·ч/год) в штате Калифорния (США)





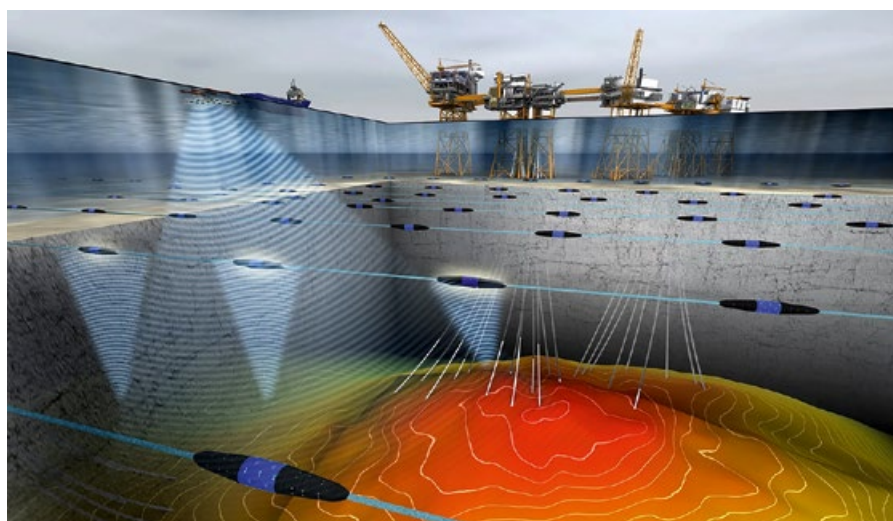
⚡ Нефтяное месторождение Valhall расположено на мелководье (70 м) и промышленно эксплуатируется с 1982 года (добыто 500 млн баррелей)

Поляризация поперечных акустических волн может быть использована для определения ориентации трещин на глубине, и взаимная корреляция фонового акустического поля и электромагнитных полей может обеспечить основу для получения характеристики проницаемости подземных пород и движения жидкости сквозь них за счёт эффектов, связанных с порупругостью (взаимодействием между потоком жидкости, давлением и деформацией объёмного твёрдого тела в линейной пористой среде) [9].

Как наглядный пример можно привести результаты анализа данных ежедневного мониторинга на сейсморазведочной станции Valhall Life-of-Field Seismic Array, расположенной в Северном море на нефтяном месторождении «Валхалл» (Valhall Field), полученных с глубины в нескольких сотен метров с помощью фонового сейсмического шума [11].

## 2.2. Нелинейно-упругий отклик

Нелинейные упругие характеристики горных пород изучаются в лабораториях более 25 лет, и было доказано, что данным методом можно получать высокоточную информацию о наличии, природе и пространственном распределении трещин, границ зёрен и других структурных



⚡ Схема получения сигналов на сейсморазведочной станции Valhall Life-of-Field Seismic Array

дефектов в недрах [12–15]. Нелинейная упругость потенциально обладает уникальными преимуществами для визуализации структуры подземных пород, имеющих отношение к EGS.

Во-первых, нелинейный отклик горной породы (отклонения наблюдаемой деформации от прямо пропорциональной напряжению, приложенному к объёму горной породы) очень чувствителен к наличию трещин при низком действительном напряжении (малой разнице между горным и поровым давлением), то есть когда

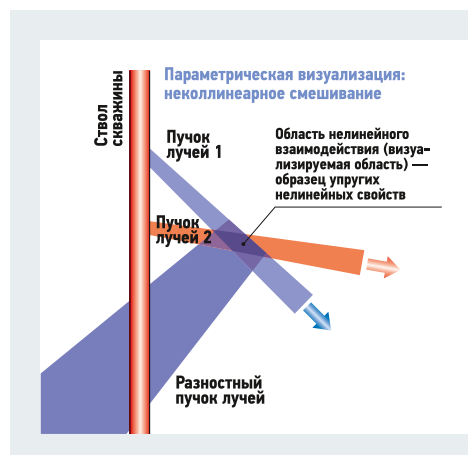
давление жидкости внутри трещин близко к нормальному давлению, связанному с давлением покрывающих (расположенных сверху) пластов породы.

Условие низкого действительного напряжения представляет интерес для:

1. Выявления подповерхностных областей, восприимчивых к стимуляции для создания EGS.
2. Количественной оценки степени успешности и пространственной протяжённости стимуляции.
3. Мониторинга временной эволюции стимулируемой зоны на глубине.

Во-вторых, изображённые трещины размерами от метров до сотен метров (вместо трещин шириной от миллиметров до нескольких метров), могут представлять собой зону предположительно начинающегося разрушения. То есть потребность в пространственном разрешении оказывается гораздо меньше, чем требуется для обычной линейно-упругой визуализации структур (рис. 3).

Основная идея заключается в том, что трещины могут «открываться» и «закрываются» для визуализации под действием внешних воздействий при условии низкого действительного напряжения. Упругий отклик разрушенного объёма сильно и нелинейно различается в зависимости от того, находятся ли трещины в процессе раскрытия или «закаты» (например, рассеиваются или нет поперечные волны с поляризацией в плоскости трещин). Таким образом, участки горной породы, «обработанные» смесью низкочастотных волн (которые «открывают» и «закрывают» трещины там, где они имеются) и высокочастотных импульсов (которые рассеиваются от «открывающихся» трещин), в принципе могут быть использованы для выявления зон трещиноватости.



⚡ Рис. 3. Схема нелинейно-упругой визуализации, применяемой для недр, с использованием массива датчиков в скважине для отправки двух пучков лучей (низкочастотного воздействующего пучка и высокочастотного зондирующего пучка) для зондирования и получения изображения интересующей области, как показано на разностном (и/или суммарном) пучке луче, ориентируясь на объём нелинейного взаимодействия [предоставлено П. А. Джонсоном (P. A. Johnson)]

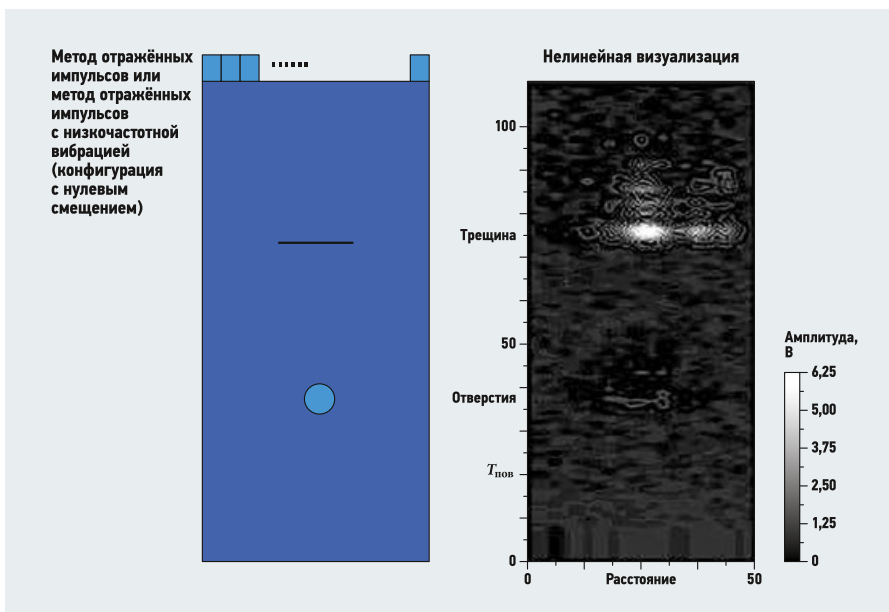


Рис. 4. Лабораторная демонстрация нелинейно-упругого изображения трещины в стальной пластине, которая уже содержит отверстие [27]

Один из вариантов реализации, который может быть применён к поверхности земли, показывает, что трещина, зондируемая низкочастотной волной, эффективно рассеивает высокочастотный зондирующий пучок лучей, что позволяет получить её изображение (рис. 4); неудивительно, что такую трещину почти невозможно обнаружить стандартными (линейно-упругими) методами. При увеличении масштабов измерений от лабораторных до полевых (в реальных условиях на местности) нелинейная упругость может стать важным достижением в области визуализации подземных структур, применяемой для проектирования EGS.

Визуализация нелинейного упругого отклика с обращением во времени используется в качестве средства неразрушающего контроля материалов в лабораторных условиях [16]. Необходимо апробировать этот метод в геотермии в полевых условиях — в масштабах от десятков до сотен метров, чтобы определить полезные диапазоны и чувствительность метода для применения в EGS. В дополнение к проблеме качества получаемого сигнала можно привести практические соображения, касающиеся используемого оборудования и его конфигурации.

Например, можно применять низкочастотное акустическое воздействие с поверхности, задействуя Vibroseis («Вибросейсм») — многотонные сейсмические вибрационные машины, базирующиеся на автомобильном или гусеничном шасси и создающие мощные низкочастотные (20–150 Гц) сейсмические колебания, или аналогичные технологии, причём это может быть гораздо предпочтительнее,

чем использование скважинных датчиков (рис. 4). Также необходимо будет определить наилучшие частотные диапазоны.

### 2.3. Бурение

Вопросы и проблемы проведения буровых работ исключительно важны для технологий EGS, поскольку бурение решает задачи разведки и определения характеристик вероятных участков, а затем разработки и добычи на месторождении [17]. Переходим к обсуждению технологий бурения, поскольку бурение имеет решающее значение для определения характеристик недр, будь то непосредственный отбор проб породы на глубине или возможность использовать сопутствующее оборудование (такое как электромагнитные и сейсмические датчики, упомянутые выше, и эксперименты с трассировкой, описанные ниже). Многочисленные трудности, возникающие при бурении на EGS, также сопутствуют бурению на углеводородных месторождениях. В результате EGS может извлечь выгоду из инноваций, создаваемых для значительно более крупного нефтегазового бизнеса.

**Вопросы и проблемы проведения буровых работ исключительно важны для технологий EGS, поскольку оно решает задачи разведки и определения характеристик вероятных участков, разработки и добычи на месторождении. Трудности, возникающие при бурении на EGS, также сопутствуют бурению на углеводородных месторождениях**

#### 2.3.1. Традиционные скважины

Когда долото буровой головки прижимается к породе, во время бурения возникает поперечная сила, дающая усилие на сдвиг, что вызывает разрушение при растяжении и сдвиге позади и вокруг скользящего контакта долота со скальным объёмом. Поскольку прочность на сдвиг существенно ниже, чем прочность при одноосном сжатии (например, 5 МПа против 200 МПа для гранитов), это имеет решающее значение для твёрдых пород. Исторически сложилось так, что бурение геотермальных скважин было одной из самых сложных задач из-за твёрдости породы и размера скважин, которые необходимо проделать в породе.

Буровые головки с поликристаллическими алмазными резаками (Polycrystalline Diamond Compact, PDC) были созданы 30 лет назад именно для геотермального бурения, а затем стали активно использоваться и в нефтегазовой промышленности [18]. С тех пор традиционная технология бурения с использованием PDC была улучшена, и PDC-головки находят всё более широкое применение, чем обычные буровые инструменты шарошечного типа. Например, Schlumberger, одна из ведущих мировых нефтесервисных компаний, сообщает об увеличении на треть средней длины проходки своих новейших буровых головок для высокотемпературного бурения твёрдых пород.

#### 2.3.2. Микроскважины

Нефтегазовая промышленность и отрасль EGS весьма заинтересованы в совершенствовании технологий быстрого бурения скважин относительно малого диаметра (менее 5 см) для разведки и сейсмического зондирования, поскольку уровень фонового сейсмического шума резко падает при увеличении глубины, а технологии Enhanced Geothermal System требуют мониторинга миниатюрных глубинных объектов, указывающих на трещиноватость породы.

Использование наведённой (техногенной) сейсмичности в качестве картографического инструмента и реальных или предполагаемых потенциальных опасностей являются дополнительными причинами для улучшения мониторинга системы EGS. Для проведения томографического мониторинга внутри распределённых отверстий размещается множество сейсмоприёмников [19].

Ещё одним важным фактором, способствующим развитию отрасли бурения скважин малого диаметра, стала необходимость газового контроля для обеспечения безопасности угольных шахт.



По данным исследователя Эрнеста Л. Майера (Ernest L. Majer), сотрудника Национальной лаборатории имени Эрнеста Лоуренса (LBNL) в Беркли (штат Калифорния, США), в настоящий момент наиболее перспективны скважины, которые:

- а) могут быть пробурены со скоростью 100–200 футов в час (0,847–1,693 см/с) для минимизации затрат;
- б) могут достигать глубины не менее 5000 футов (1524 м) при таких высоких скоростях бурения;
- в) образуют минимальное количество отходов при бурении, что обеспечивает максимальную скорость и экономичность процесса;
- г) обладают небольшой площадью буровой установки для её быстрого развёртывания, а также имеют минимум проблем с получением разрешений;
- д) наносят пласту минимальное повреждение стенками скважины и окружающей породой (что улучшает возможности мониторинга пласта);
- е) имеют небольшой диаметр, что обеспечивает лучшую сейсмическую связь приборов с горной породой.

### 2.3.3. Резонансное бурение

При традиционном роторном (вращательном) бурении необходимо нагнетание жидкости для отвода раскрошенной породы с пути буровой головки. Для промывки среды при резонансном (звуковом) бурении можно использовать простые решения, такие как воздух и вода. Турбулентный поток, создаваемый колебаниями соответствующего породоразрушающего инструмента, отбрасывает рассверленную породу в одну сторону. В отличие от вращательного бурения, потребное количество промывочных средств невелико.

**При традиционном роторном (вращательном) бурении необходимо нагнетание жидкости для отвода раскрошенной породы с пути буровой головки. Для промывки среды при звуковом бурении можно использовать простые решения, такие как воздух и вода. Турбулентный поток отбрасывает рассверленную породу в одну сторону**

Звуковое (также называемое резонансным, поскольку бурильная труба колеблется на низкой резонансной частоте) бурение разрабатывается для сравнительно неглубоких скважин, которые, как правило, создаются в мягких или неуплотнённых породах. Эта технология может быть полезной для бурения скважин глубиной до 500 футов (1524 м), необходимых в большом количестве для установки сейсмических датчиков.

### 2.3.4. Гидродинамическое бурение

Технология абразивно-струйной резки впервые была предложена для бурения в работе [20] и относится к гидродинамическому способу разрушения горных пород, включающему эрозионные, абразивные и комбинированные методы. В качестве рабочего тела здесь используется вода или углекислый газ.

В лабораторных условиях было продемонстрировано, что использование высокоабразивной смеси шлама и углекислого газа (суспензии), сопла со специальным профилем и насоса высокого давления обеспечивает высокую скорость проникновения в базальт. Если требуется отверстие большого диаметра, можно предус-

мотреть вращение сопла (или сопел) с помощью скважинного гидравлического или электрического двигателя. Как было продемонстрировано ещё в 1960-х годах [21], сопло может быть сфокусировано для концентрации потока суспензии на периферии буровой скважины, что сокращает объём выполняемой работы.

Следует отметить, что струйно-абразивное бурение не позволяет бурить глубокие скважины из-за трудностей с обработкой и подачей необходимого количества абразивного материала на глубину, при этом ещё и противодействуя высокому внутреннему давлению в скважине и в окружающей горной породе. Кроме того, управление процессом бурения подобным способом на глубине представляет собой пока что нерешаемую задачу.

Что касается износа насадок под воздействием абразива, то он может быть уменьшен за счёт использования современных упрочнённых материалов, например, на основе алмаза [19].

В настоящее время продолжается разработка комбинированных методов, включающих в себя абразивное и ударное бурение, но о полевых испытаниях в системах EGS не сообщалось.

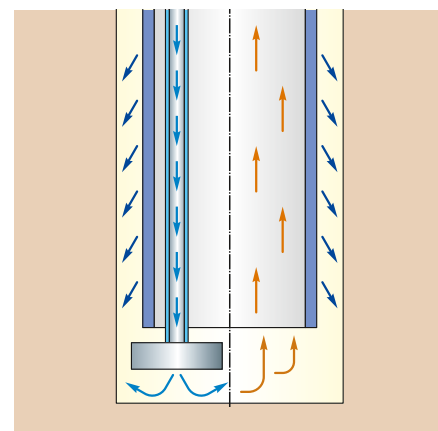
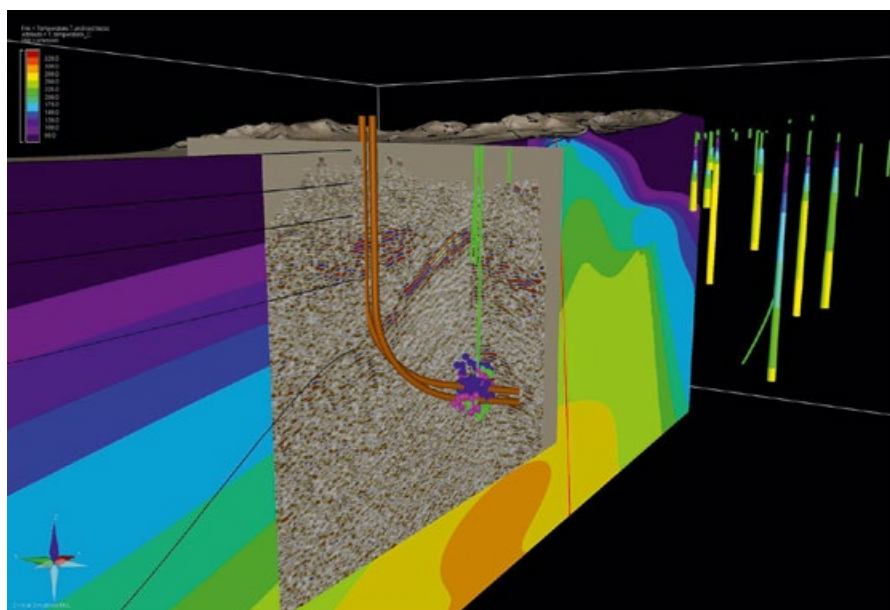


Рис. 5. Схема высокоскоростного бурения двумя колоннами [22]

### 2.3.5. Высокоскоростное двухколонное бурение

При бурении высокоскоростным двухколонным методом образуется измельчённая порода, состоящая из субмиллиметровых частиц, в отличие от крупных дробин, которые обычно получают при относительно медленном традиционном бурении [22], рис. 5. Малый вес бурового долота приводит к меньшему его износу. При этом используются как мелкоалмазные коронки (со вставными мелкими алмазами), так и коронки с PDC. Следует отметить, что первая высокоскоростная двухколонная система будет испытана в полевых условиях уже в 2024 году.



### 3. Создание и производство EGS

#### 3.1. Теплопередача в системе EGS

Двумя основными факторами, определяющими возможный успех геотермальной системы (от обычных гидротермальных источников до сухих горных пород), являются коэффициент извлечения тепловой энергии и возможный срок службы данного геотермального месторождения. Обе эти характеристики связаны с передачей теплоты закачиваемой воде и изменением количества тепловой энергии, содержащейся в горячей породе.

Важным аспектом извлечения тепловой энергии является то, что при контакте с гораздо более холодной водой температура породы на глубине постепенно уменьшается, приближаясь к температуре закачиваемой воды. Единственный способ термического восстановления породы при отсутствии значительной проницаемости — это передача тепла от соседних пластов породы, что является довольно медленным процессом.

Вследствие теплопередачи за пять лет контакта с водой горячая порода локально охлаждается на расстояние:

$$\sqrt{4\alpha\tau} = \sqrt{4 \times 5 \times 30} \approx 24,5 \text{ м,}$$

где  $\alpha$  — коэффициент температуропроводности породы,  $\alpha = 30 \text{ м}^2/\text{год}$ ;  $\tau$  — время контакта с холодной водой,  $\tau = 5 \text{ лет}$ .

#### 3.2. Вода

Для геотермальных установок, работающих в районах с дефицитом воды, потребление пресной воды является важным и деликатным вопросом. Геотермальные системы используют воду, помимо других целей, типичных для строительных проектов, при бурении скважин и применении гидродинамических способов разру-



Геотермальный комплекс «Гейзеры» (The Geysers) в Калифорнии

шения породы. Однако большая часть водопотребления приходится на обычные операции, когда вода необходима, например, для восполнения потерь из гидротермального резервуара и для охлаждения поверхностных теплообменников.

Усовершенствованные геотермальные системы (EGS) также нуждаются в источнике воды для первоначального заполнения резервуара в случае наличия только горячей сухой породы или в местах, где объёмы природных гидротермальных вод недостаточны или заканчиваются.

**Опытным путём было обнаружено, что со временем из-за утечек постепенно теряют воду как природные гидротермальные системы, так и EGS, которые искусственно создаются в твёрдых сухих горных породах, поскольку везде имеются подземные каналы, отводящие воду из геотермальных резервуаров**

Кроме того, опытным путём было обнаружено, что со временем из-за утечек постепенно теряют воду как природные гидротермальные системы, так и EGS, которые искусственно создаются в твёрдых сухих горных породах, поскольку везде имеются подземные каналы, отводящие воду из геотермальных резервуаров.

Некоторые геотермальные комплексы, такие как «Гейзеры» (The Geysers) в горах Майакамас на севере штата Калифорния (США), представляющие собой крупнейшее в мире геотермальное поле (376 активных паровых и 72 нагнетательных скважин), на котором функционируют 18 действующих ГеоЭС суммарной установленной мощностью 1,59 ГВт, в качестве ресурса используют горячий сухой пар, извлекаемый из земных недр, который приводит в действие турбины. Хотя в данном случае пар может конденсироваться и возвращаться в подземный геотермальный резервуар, на всех ГеоЭС «Гейзеры» он выбрасывается в атмосферу, тем самым способствуя утечке воды из геотермальной системы.

Способом сбережения геотермального ресурса является подача горячей воды из скважины в специальную ёмкость под низким давлением. Это приводит к тому, что вода закипает и превращается в пар, который может приводить в действие турбину или теплообменник. Другой вариант использования нагретой скважинной воды — бинарный цикл, который подразумевает подогрев органической жидкости через теплообменник в замкнутом контуре так, что она испаряется при более низкой температуре. Этот пар приводит в действие турбину, затем конденсируется и возвращается обратно (рис. 6). Такие системы дополнительно потребляют воду, идущую на водяное охлаждение конденсатора для его эффективной работы, хотя довольно часто используется сухое охлаждение воздухом.

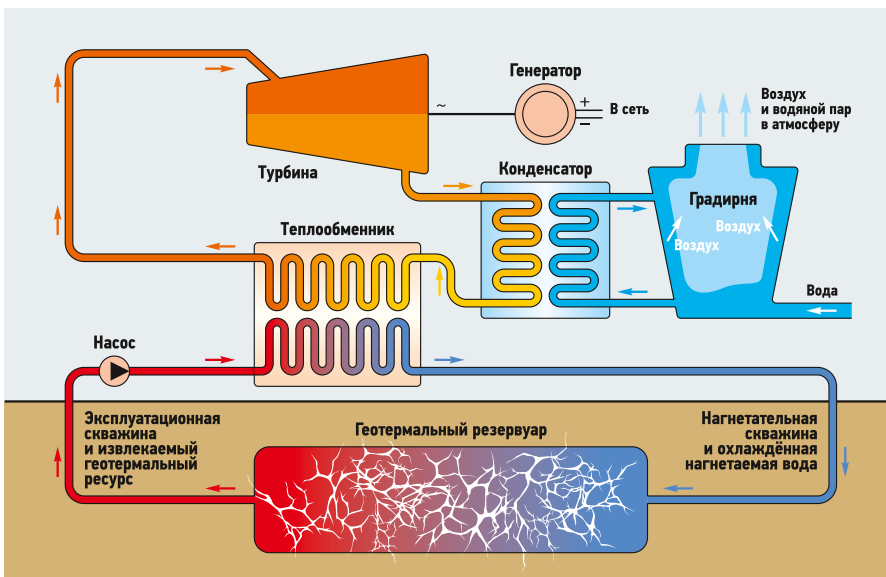


Рис. 6. Геотермальная система с бинарным охлаждением [28]





### 3.3. Коррозия и образование накипи

«Традиционные» геотермальные системы имеют серьёзные проблемы с коррозией или образованием отложений солей жёсткости в трубопроводах, что также является проблемой для EGS. Газы, содержащиеся в паре, и другие химические вещества, растворённые в геотермальном рассоле, могут вызывать коррозию и образование отложений. Газы, смешивающиеся с паром на месторождениях гейзеров, такие как хлористый водород и сероводород, вносят значительный вклад в коррозионную агрессивность полученного геотермального ресурса. Рассолы представляют собой смесь веществ, включая ортосиликатионы, хлорид-ионы, сульфаты или сернокислотные соединения (в зависимости от окислительно-восстановительного состояния рассола), катионы кальция, магния, натрия, железа и многих других металлов. Относительное количество этих растворённых веществ определяется водородным показателем pH рассола.

### 3.4. Наведённая сейсмичность

Одним из последствий добычи геотермального ресурса и (в значительно большей степени) углеводородов является возникновение искусственных землетрясений [23, 24]. Наведённая (индуцированная технической деятельностью человека) сейсмичность — это хорошо документированное явление, связанное с изменением давления жидкости на глубине, например, из-за забора воды за плотиной или закачки жидкости в недра, которое не раз вызывало серьёзную озабоченность общественности в связи с EGS и другими геотермальными проектами [25]. Небольшие землетрясения могут быть также вызваны нагрузками, возникающими

при гидроразрыве геологических пластов для создания геотермальных резервуаров EGS, в то же время микроземлетрясения предоставляют важную информацию о пространственном распределении зон воздействия на глубине, поэтому они могли бы рассматриваться как часть определения характеристик глубинных массивов, при этом можно отслеживать микросейсмичность (количество и местоположение событий) на расстоянии более 1000 м. Автор данной статьи выступает за проведение более детальных измерений, связанных с оценками изменяющейся в пространстве и времени проницаемости и напряжённого состояния, основанных на использовании трассировочных и электромагнитных методов в сочетании с сейсморазведкой.



## 4. Технологии, способные изменить правила игры

EGS предоставляет значительные возможности для увеличения вклада геотермальной энергии в производство электроэнергии в США в течение следующих нескольких лет, особенно если имеющийся первоначальный успех будет должным образом оценён и использован.

Текущими ключевыми задачами являются определение характеристик подземного потока с целью прогнозирования и управления коэффициентами извлечения тепла и сроками службы скважин. Как в области определения характеристик недр, так и в области добычи были достигнуты значительные технологические успехи, и следующим важным шагом является разработка и оценка этих возможностей в полевых условиях. Многие технические проблемы, решаемые исследованиями в сфере EGS, представляют широкий интерес для промышленности, научных кругов и правительства. В частности, важное значение имеет визуализация и определение характеристик недр и подземных потоков, в том числе благодаря разработкам в сфере бурения микроскважин и связанным с ними технологиям. Эти технологии таковы: бурение и подземные стоки.

### Искусственная (наведённая, индуцированная) сейсмичность — это хорошо документированное явление, связанное с изменением давления жидкости на глубине, например, из-за закачки жидкости в недра

Инновации в области бурения оказывают большое влияние на EGS. С одной стороны, бурение по-прежнему является значительной расходной статьёй при геотермальной разведке, разработке месторождений при помощи EGS и добыче геотермального ресурса. С другой стороны, существуют значительные перспективы для усовершенствования технологий бурения для поддержки EGS, которые уже апробируются в полевых условиях.

Пространственная неоднородность каналов подземных стоков и то, как изменяется поток на глубине с течением времени, являются особенностями подземных стоков, которые необходимо исследовать. Однако этот процесс нуждается в подтверждении имеющихся данных, а также в изучении дополнительных аспектов, которые могут повлиять на коэффициенты извлечения геотермального ресурса из пород методами EGS.

## 5. Объективный подход к плюсам и минусам обычных EGS

Итак, «традиционные» (обычные) усовершенствованные геотермальные системы (EGS) подразумевают бурение в горячей породе или «стимуляцию» методом гидроразрыва с последующей закачкой воды с поверхности для создания геотермального резервуара. Полученный геотермальный ресурс (вода, пар, рассол) может быть использован для производства электроэнергии с помощью паровой турбины или для непосредственного использования, например, для отопления и охлаждения.

Преимущества «традиционных» EGS заключаются в следующем:

- 1. Высокий энергетический потенциал** (EGS способны производить большое количество электроэнергии, что делает их жизнеспособной альтернативой ископаемому топливу).
- 2. Возобновляемый источник энергии** (EGS является возобновляемым источником энергии, который не производит парниковых газов или других загрязняющих веществ).
- 3. Гибкость** (EGS можно использовать в самых разных условиях, включая городские и сельские районы, что делает их универсальным источником энергии).
- 4. Долговечность** (после установки EGS они могут вырабатывать энергию в течение десятилетий).

К недостаткам «традиционных» «усовершенствованных геотермальных систем» (Enhanced Geothermal System, EGS) относятся следующие:

- 1. Высокая стоимость** (первоначальные затраты на бурение и строительство EGS могут быть высокими, что в некоторых районах делает их менее экономически привлекательными).
- 2. Возможные экологические проблемы** (бурение и строительство EGS могут оказать негативное воздействие на окружающую среду, включая потенциальную техногенную сейсмическую активность).
- 3. Ограниченная доступность** (EGS доступна только в определённых регионах, где есть необходимые ресурсы — прежде всего вода и электричество).
- 4. Нерешённые технические проблемы** (по-прежнему существуют некоторые технические вопросы, которые необходимо решить, чтобы сделать EGS более эффективной и рентабельной).
- 5. Высокая стоимость бурения и создания геотермального резервуара** по сравнению с обычными геотермальными источниками также может быть сдерживающим фактором.

Важно отметить, что «традиционные» системы EGS всё ещё находятся на ранних стадиях разработки, и проводятся постоянные исследования для дальнейшего совершенствования технологии и снижения затрат.

## 6. Заключение

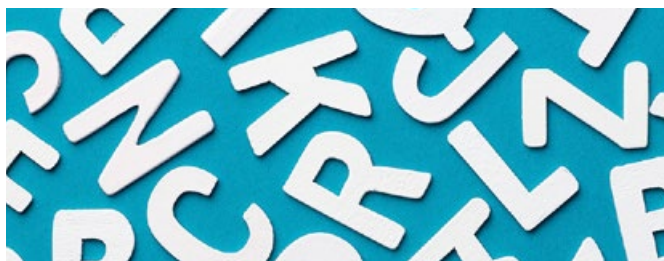
В многочисленных публикациях приводятся впечатляющие статистические данные о потенциале EGS, но многое ещё предстоит сделать, чтобы использовать эту мощь. На основе анализа инициатив EGS по всему миру сложилось мнение, что EGS всё ещё находится в стадии разработки. Любая инициатива EGS сопряжена с высокими финансовыми рисками, поскольку успех в данной сфере не гарантирован, и в определённых ситуациях возможен даже отказ от проекта [26].

Существует техническая проблема управления каждой конкретной EGS для получения оптимального расхода геотермального ресурса с нужной температурой и в течение достаточного промежутка времени. Например, чтобы двойная система EGS, предполагающая глубину залегания более 3 км и температуру ресурса более 150 °C, была экономически выгодна, она должна работать при расходе от 50 до 100 л/с и вырабатывать электроэнергию (от 3 до 10 МВт электрической мощности) в течение всего срока службы, то есть по крайней мере 25 лет.

Для EGS крайне важно обеспечить применение современных технологий, обеспечивающих минимальный риск возникновения искусственной сейсмичности и позволяющих проводить разведку геотермальных ресурсов безопасным и экологически безвредным способом. ●

- Renewable energy sources and climate change mitigation: Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Prep. by Working group III of the IPCC. Edited by O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, Ch. von Stechow. Cambridge University Press. Cambridge, UK; New York, U.S. 2012. 246 p.
- Lund J.W. Characteristics, development and utilization of geothermal resources. Geo-Heat Center Quarterly Bulletin. 2007. Vol. 28. Issue 2.
- Olasolo P, Juárez M.C., Morales M.P., D'Amico S., Liarte I.A. Enhanced geothermal systems (EGS): A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015–2016. Vol. 56. Pp. 133–144.
- Williams C.F., Reed M.J., Mariner R.H. A review of methods applied by the U.S. Geological Survey in the assessment of identified geothermal resources: An open-file report. U.S. Geological Survey (USGS). Reston, Virginia, U.S. 2008. 30 p.
- Augustine C. Updated U.S. geothermal supply characterization and representation for market penetration model input. U.S. Department of Energy (DoE); NREL. Golden, Colorado, U.S. 2011. 103 p.
- Jeanloz R., Stone H. Enhanced Geothermal Systems. JASON Program Office; MITRE Corp.; DoE. McLean, Virginia, U.S. 2013. 147 p.
- Annual Energy Outlook 2013: with Projections to 2040 (AEO-2013). U.S. Energy Information Administration (EIA); DoE. Washington, DC, U.S. 2013. 244 p.
- Snieder R., Hubbard S., Haney M., Bawden G., Hatchell P., Revil A. and DoE Geophysical Monitoring Working Group. Advanced noninvasive geophysical monitoring techniques. Annual Review of Earth and Planetary Sciences. 2007. Vol. 35. Issue 1. Pp. 653–683.
- Snieder R., Wapenaar K. Imaging with ambient noise. Physics Today. 2010. Vol. 63. Issue 9. Pp. 44–49.
- Snieder R., Larose E. Extracting Earth's elastic wave response from noise measurements. Annual Review of Earth and Planetary Sciences. Vol. 41. Issue 1. Pp. 183–206.
- de Ridder S.A.L., Biondi B.L. Daily reservoir-scale subsurface monitoring using ambient seismic noise. Geophysical Research Letters. 2013. Vol. 40. Issue 12. Pp. 2969–2974.
- Johnson P.A., Shankland T.J., O'Connell R.J., Albright J.N. Nonlinear generation of elastic waves in crystalline rock. Journal of Geophysical Research. 1987. Vol. 92. Issue B5. Pp. 3597–3602.
- Johnson P.A., Shankland T.J. Nonlinear generation of elastic waves in granite and sandstone: Continuous wave and travel time observations. Journal of Geophysical Research. 1989. Vol. 94. Issue B12. Pp. 17729–17733.
- Guyot R.A., Johnson P.A. Nonlinear mesoscopic elasticity: Evidence for a new class of materials. Physics Today. 1999. Vol. 52. Issue 4. Pp. 30–36.
- Pasqualini D., Heitmann K., TenCate J.A., Habib S., Higdon D., Johnson P.A. Nonequilibrium and nonlinear dynamics in Berea and Fontainebleau sandstones: Low-strain regime. Journal of Geophysical Research. 2007. Vol. 112. Issue B1.
- Ulrich T.J., Sutin A.M., Guyot R.A., Johnson P.A. Time reversal and non-linear elastic wave spectroscopy techniques. International Journal of Non-Linear Mechanics. 2008. Vol. 43. Issue 3. Pp. 209–216.
- Teodoriu C., Cheuffa C. A comprehensive review of past and present drilling methods with application to deep geothermal environment. Technische Universität Clausthal (Clausthal-Zellerfeld, Germany). Proc. of 36th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford University. Stanford, California, U.S. January 31 — February 2, 2011.
- Orazzini S., Kasirin R., Ferrari G., Bertini A., Bizzocchi I., Ford R., Li Q., Zhang M. New HT/HP technology for geothermal application significantly increases on-bottom drilling hours. Schlumberger Foundation. Pres. at the IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition. San Diego, California, U.S. 2012.
- Lu Y., Tang J., Ge Z., Xia B., Liu Y. Hard rock drilling technique with abrasive water jet assistance. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2013. Vol. 60. Pp. 47–56.
- Kollé J.J. A comparison of water jet, abrasive jet and rotary diamond drilling in hard rock. Tempres Technologies, Inc. 1999. 8 p.
- Maurer W.C. Advanced Drilling Techniques. Petroleum Publishing. Petroage Pub Co. 1980. 698 p.
- ABLE MudMaster conquers drilling fluid measurement drilling optimization. Groundbreaking technology from ABLE achieves real time drilling fluids measurement. ABLE Instruments & Control. Reading, Berkshire, UK. 2013.
- Induced seismicity potential in energy technologies. National Research Council (NRC); The National Academies Press. Washington, DC, U.S. 2013. 262 p.
- Ellsworth W.L. Injection-induced earthquakes. Science. 2013. Vol. 341. Issue 6142.
- Julian B.R., Foulger G.R., Monastero F.C., Bjornstad S. Imaging hydraulic fractures in a geothermal reservoir. Geophysical Research Letters. 2010. Vol. 37. Issue 7.
- Jung R. EGS — goodbye or back to the future: Effective and sustainable hydraulic fracturing. Proc. of ISRM International Conference for Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing (HF-2013). May 20–22, 2013. Brisbane, Australia.
- Kazakov V.V., Sutin A., Johnson P.A. Sensitive imaging of an elastic nonlinear wave-scattering source in a solid. Applied Physics Letters. 2002. Vol. 81. Issue 4. Pp. 646–648.
- Reilly T.E., Dennehy K.F., Alley W.M., Cunningham W.L. Ground-water availability in the United States. U.S. Geological Survey Circular No. 1323. U.S. Department of the Interior. Reston, Virginia, U.S. 2008. 79 p.





## AIR CONDITIONING AND VENTILATION

### Analysis of prospects for the development of thermometers for use in compact air handling units with a rotary heat exchanger. Pp. 46–48.

**Sergey V. Guzhov**, PhD, Associate Professor, the Department of Heat and Mass Transfer Processes and Installations (HMTPI), National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MPEI"); **Andrey A. Arbatsky**, PhD, General Director of the Research Institute of Energy-Efficient Technologies of Microclimate; **Evgeny A. Ushak**, student, NRU "MPEI"; **Anna O. Sorokina**, student, NRU "MPEI"

1. *Printsip raboty zhidkostnogo termometra* [Operating principle of a liquid thermometer]. OOO "Promsnab" ["Promsnab", LLC] of February 28, 2019. Web-source: prom-snab.ru. Access date: June 10, 2024. [In Russian]
2. *Gazovyy termometr* [Gas thermometer]. "Ruwiki". Web-source: ruwiki.ru. Access date: June 10, 2024. [In Russian]
3. *Ustrojstvo manometricheskikh termometrov: printsip dejstvija, klassifikatsija* [Design of manometric thermometers: principle of operation, classification]. "Thermarket". Web-source: thermarket.ru. Access date: June 10, 2024. [In Russian]
4. *Mekhanicheskij termometr: istorija, opisanie i printsip dejstvija* [Mechanical thermometer: history, description and principle of operation]. "Stroy-Podskazka.ru". Web-source: stroy-podskazka.ru. Access date: June 10, 2024. [In Russian]
5. *Termometry soprotivlenija: osobennosti, printsip dejstvija i primenenie* [Resistance thermometers: features, principle of operation and application]. "Stroy-Podskazka.ru". Web-source: stroy-podskazka.ru. Access date: June 10, 2024. [In Russian]
6. *Printsip raboty termoelektricheskogo termometra* [Operating principle of a thermoelectric thermometer]. "Studopedia" of June 10, 2015. Web-source: studopedia.ru. Access date: June 10, 2024. [In Russian]
7. *Vidy i printsip dejstvija pirometrov* [Types and principles of operation of pyrometers]. GEON. Web-source: geon.ru. Access date: June 10, 2024. [In Russian]
8. *Termometr Galileja: istorija i printsip dejstvija* [Galileo's thermometer: history and principle of operation]. "Cryofrost Academy". Web-source: kriofrost.academy. Access date: June 10, 2024. [In Russian]
9. *Molekuljarnyj termometr* [Molecular thermometer]. "Kommersant" of August 17, 2022. Web-source: kommersant.ru. Access date: June 10, 2024. [In Russian]
10. *Termoshumovoj metod izmerenija temperatury* [Thermal noise method of temperature measurement]. "Cyberpedia" of October 9, 2017. Web-source: cyberpedia.su. Access date: June 10, 2024. [In Russian]
11. *Termometr termoshumovoj* [Thermal noise thermometer]. "Jentsiklopedija po mashinostroeniju" [Encyclopedia of Mechanical Engineering]. Web-source: mash-xxl.info. Access date: June 10, 2024. [In Russian]

### On forecasting the demand for thermal energy by a supply ventilation system using a simplified deterministic approach. Pp. 49–51.

**Sergey V. Guzhov**, PhD, Associate Professor, the Department of Heat and Mass Transfer Processes and Installations (HMTPI), National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MPEI"); **Andrey A. Arbatsky**, PhD, General Director of the Research Institute of Energy-Efficient Technologies of Microclimate; **Elena V. Krylova**, PhD, Associate Professor, Deputy Director for Academic Affairs of the Institute of Thermal and Nuclear Energy (ITNE) of NRU "MPEI"; **Anna O. Sorokina**, student, NRU "MPEI"

1. SP 50.13330.2012 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 50.13330.2012]. *Teplovaja zashita zdaniy* [Thermal protection of buildings]. Aktualiz. red. SNIiP 23-02-2003 [Updated version of Building Rules & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 23-02-2003]. Date of impl.: July 1, 2013. [In Russian]
2. *S.V. Guzhov, A.A. Arbatsky, D.V. Torop. O formirovanii bazy dannykh tsifrovoy modeli sistemy teplosnabzhenija zdanija* [On the formation of a database of a digital model of the building's heat supply system]. *Zhurnal Santechnika, otoplenie, konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2023. No. 6. Pp. 32–35. [In Russian]
3. *Integral'nyj indeks* [Integral index]. NIU "MPEI" [National Research University "Moscow Energy Institute"]. Web-source: tsi.mpei.ru. Access date: April 22, 2024. [In Russian]
4. *S.V. Guzhov, E.V. Krylova, S.A. Andryunin. Sravnenie otechestvennykh i evropejskikh podhodov pri raschjote ITP dlja zdanija ofisnogo tipa v uslovijakh nedostatochnosti dannykh* [Comparison of domestic and European approaches when calculating an individual heating point for an office building in conditions of insufficient data]. *Zhurnal Santechnika, otoplenie, konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2022. No. 7. Pp. 36–38. [In Russian]
5. *P.R. Varshavskij, S.V. Guzhov, A.A. Sesin, M.S. Bashlykov. Razrabotka programmykh sredstv dlja raschjota i prognozirovanija integral'nogo indeksa sistemy teplosnabzhenija tipovykh zdaniy na osnove nejrosetevykh metodov* [Development of software for calculating and predicting the integral index of the heat supply system of standard buildings based on neural network methods]. *Vestnik MPEI* [Bulletin of the Moscow Energy Institute]. 2024. No. 1. Pp. 138–146. [In Russian]

## ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

### Autonomous energy installations on renewable energy sources for supplying energy to isolated objects of the oil and gas complex. Pp. 52–55.

**Vasily A. Zubakin**, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department; **Kimal N. Yusupov**, postgraduate student; **Nikita V. Bunin**, master's student, the Department of Renewable Energy Sources, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)

1. *Mirovoj rynek SPG: strukturnye osobennosti i prognoz razvitiya* [Global market of liquefied natural gas: structural features and development forecast]. "Neftegaz.ru" of February 10, 2023. Web-source: magazine.neftegaz.ru. Access date: October 20, 2023. [In Russian]
2. *A. Nikitin. Putin otmetil vazhnost' proektov po proizvodstvu SPG* [President of Russia V.V. Putin noted the importance of liquefied natural gas production projects]. "Vzgljad.ru" of July 20, 2023. Web-source: vz.ru. Access date: October 15, 2023. [In Russian]
3. *S. Tikhonov. Jeksportirovat' szhizhennyj prirodnyj gaz iz Rossii stanet proshje* [It will become easier to export liquefied natural gas from Russia]. "Rossijskaja gazeta" ["Russian newspaper"] of October 19, 2023. Web-source: rg.ru. Access date: October 19, 2023. [In Russian]
4. *S 1 ijunia 2023 goda v Rossii zarabotal reestr vybrosov parnikovykh gazov* [Greenhouse Gas Emissions Register launched in Russia on June 1, 2023]. *Minjekonomrazvitiya Rossii* [Ministry of Economic Development of the Russian Federation] of June 1, 2023. Web-source: etsonomy.gov.ru. Access date: October 22, 2023. [In Russian]
5. *Pogoda v 241 stranakh mira* [Weather in 241 countries of the world]. Web-source: rp5.ru. Access date: March 16, 2024. [In Russian]
6. *Elistratov V.V. Vozobnovljaemaja jenergetika: monografija* [Renewable energy: A monograph]. 3rd edition, rev. and exp. St. Petersburg. *Izd-vo SPbPU* [Publishing House of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University]. 2016. 424 p. [In Russian]
7. *"NOVATJEK" lovit jamašjskij veter: kompanija mozhet postroit' VJeS na 200 MVt v Sabetta* ["NOVATEK", PJSC, catches the Yamal wind: the company may build a 200 MW wind farm in Sabetta]. "Kommersant" of June 28, 2021. Web-source: kommersant.ru. Access date: October 19, 2023. [In Russian]
8. *Jekologičnyje reshenija na baze turbin Siemens. Lokalizovannye proekty i novye perspektivy* [Environmentally friendly solutions based on Siemens turbines. Localized projects and new prospects]. *Prezentatsija departamenta "Proizvodstvo jenerгии i gaza" kompanii Siemens AG* (29.11.2017) [Presentation of the Department of Energy and Gas Production of Siemens AG of November 29, 2017]. Moscow. Siemens AG. 2017. 15 p. [In Russian]
9. *Gas 2019: Analysis and forecast to 2024*. International Energy Agency (IEA). Paris, France. 2019. 181 p.



## ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

[The use of digital technologies in substantiating the energy and design parameters of the Arctic wind power plant. Pp. 56–59.](#)

**Victor V. Elistratov**, Doctor of Technical Sciences, Professor; **Alexander A. Panfilov**, PhD, Associate Professor, Higher School of Hydraulic Engineering and Energy Construction (HSHEEC), Institute of Civil Engineering (ICI), Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU); **Stanislav G. Petrov**, graduate student, SPbPU

- V.V. Elistratov. *Optimal'nye resheniya sistemy avtomaticheskogo upravleniya jenergokompleksov srednej moshnosti na osnove vozobnovljaemykh istochnikov jenerгии* [Optimal solutions for the automatic control system of medium-power energy complexes based on renewable energy sources]. *Silovoe i jenergeticheskoe oborudovanie. Avtonomnye sistemy* [Power and energy equipment. Autonomous systems]. 2019. No. 2. Pp. 69–85. [In Russian]
- L.M.H. Hall, A.R. Buckley. A review of energy systems models in the UK: Prevalent usage and categorization. *Applied Energy*. 2016. Vol. 169. Pp. 607–628.
- V.V. Elistratov, A.A. Panfilov. *Osobennosti proektirovaniya fundamentov vetrojenergeticheskikh ustanovok v usloviyakh vechnoj merzloty* [Features of designing foundations of wind power plants in permafrost conditions]. *Poljarnaja mekhanika — 2016: Mat. III mezhd. konf.* [Polar Mechanics — 2016: Proc. of the III International Conference]. September 27–30, 2016. Vladivostok. *Izd-vo DVFU* [Publishing House of Far Eastern Federal University]. 2016. Pp. 599–609. [In Russian]
- V.V. Elistratov. *Jenergosnabzhenie ob'ektov v Arktike s ispol'zovaniem vozobnovljaemykh istochnikov jenerгии* [Energy supply to facilities in the Arctic using renewable energy sources]. *Zhurnal "Neftegaz.ru"* ["Neftegaz.ru" Magazine]. 2023. No. 1. Pp. 74–79. [In Russian]
- A breakdown of the digital wind farm. GE Vernova. Web-source: ge.com. Access date: 27.08.2023.
- LIFESPAN: A digital suite optimizing operations proven to meet evolving. GE Vernova. Web-source: ge.com. Access date: 27.08.2023.
- J.D.M. De Kooning, K. Stockman, J. De Maeyer, A.J. Laguna, L. Vandeveldel. Digital twins for wind energy conversion systems: A literature review of potential modelling techniques focused on model fidelity and computational load. *Processes*. 2021. Vol. 9. Issue 12.
- V.V. Elistratov, A.A. Panfilov, M.A. Konyshev, R.S. Denisov. The application of adapted materials and technologies to create energy systems based on renewable energy sources under harsh climatic conditions. *Applied Solar Energy*. 2018. Vol. 54. Issue 6. Pp. 472–476.
- D. Chade, T. Miklis, D. Dvorak. Feasibility study of wind-to-hydrogen system for Arctic remote locations — Grimsey Island case study. *Renewable Energy*. 2015. Vol. 76. Pp. 204–211.
- S. Sinha, S.S. Chandel. Review of recent trends in optimization techniques for solar photovoltaic-wind based hybrid energy systems. 2015. Vol. 50. Pp. 755–769.
- H.-K. Ringkjøb, P.M. Haugan, I.M. Solbrekke. A review of modelling tools for energy and electricity systems with large shares of variable renewables. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 96. Pp. 440–459.
- Y. Liu, S. Yu, Y. Zhu, D. Wang, J. Liu. Modeling, planning, application and management of energy systems for isolated areas: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 82. Pp. 460–470.
- T. Lambert, P. Gilman, P. Lilienthal. Micropower system modelling with HOMER. In: *Integration of alternative sources of energy* (Chapter 15). Edited by M.G. Simoes, F.A. Farret. Wiley-IEEE Press. 2006. Pp. 379–418.
- J.N. Rud, M. Hörmann, V. Hammervold, R. Åsmundsson, I. Georgiev, G. Dyer, S.B. Andersen, J.E. Jessen, P. Kvorning, M.R. Brodsted. Energy in the West Nordics and the Arctic: Scenario analysis. Nordic Council of Ministers. Copenhagen, Denmark. 2018. 109 p.
- V.V. Elistratov, R.S. Denisov. Justification of wind turbine operation and management modes for Russian Arctic conditions. Proc. of 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM-2017). St. Petersburg, Russia. May 16–19, 2017.
- V.V. Elistratov, M.A. Konishev, R.S. Denisov, I.V. Bogun. Arkticheskaja vetrodizel'naja jelektrostantsija s intellektual'noj sistemoj upravlenija [Arctic wind-diesel power plant with an intelligent control system]. *Jelektrichestvo* ["Electricity" Magazine]. 2022. No. 2. Pp. 29–37. [In Russian]
- Patent RU 157615 U1. IPC E04H 12/18. Teleskopicheskaja vetrobasha* [Telescopic wind tower]. V.V. Elistratov, A.A. Panfilov, M.A. Konishev, R.S. Denisov. *Patent holder: FGAOU VO "SPbPU"* [Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University]. Appl.: July 13, 2015. Publ.: December 10, 2015. [In Russian]
- Patent RU 167022 U1. IPC E02D 27/42. Modul'nyj fundament vetrojelektricheskoi ustanovki* [Modular foundation of a wind power plant]. V.V. Elistratov, A.A. Panfilov, R.S. Denisov, M.A. Konishev. *Patent holder: FGAOU VO "SPbPU"* [Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University]. Appl.: June 2, 2016; Publ.: December 20, 2016. [In Russian]
- Patent RU 207608 U1. IPC E02D 27/42. Universal'nyj modul'nyj fundament arkticheskoi vetrojelektricheskoi ustanovki* [Universal modular foundation of an Arctic wind power plant]. V.V. Elistratov, A.A. Panfilov, S.G. Petrov. *Patent holder: FGAOU VO "SPbPU"* [Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University]. Appl.: July 30, 2021. Publ.: November 3, 2021. [In Russian]
- S.G. Petrov, A.A. Panfilov. *Konstruktivno-tehnologicheskie osobennosti stroitel'stva modul'nykh vetrojenergeticheskikh ustanovok arkticheskogo ispolnenija* [Structural and technological features of the construction of modular wind power plants of arctic design]. *V sb.: Nedelja nauki SPbPU: Mat. nauch. konf. s mezhd. uchastiem. Luchshie doklady* [In the coll.: Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University's Science Week: Proc. of the Scientific Conference with International Participation. Best reports]. November 18–23, 2019. St. Petersburg. *Izd-vo SPbPU* [Publishing House of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University]. 2019. Pp. 36–41. [In Russian]
- Razmery i kharakteristiki kontejnerov dlja perevozki tovarov* [Dimensions and characteristics of containers for the transportation of goods]. *OOO "Kontmaster"* ["Kontmaster", LLC]. Web-source: kontmaster.su. Access date: August 27, 2023. [In Russian]

## ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

- V.V. Elistratov. *Nauchno-tehnicheskoe obosnovanie i proektirovanie jenergokompleksov na osnove VIje dlja slozhnykh prirodno-klimaticheskikh uslovij* [Scientific and technical justification and design of energy complexes based on renewable energy sources for difficult natural and climatic conditions]. *Jelektrichestvo* ["Electricity" Magazine]. 2023. No. 10. Pp. 4–21. [In Russian]

[Calculation of energy efficiency through the rotary regenerator seal improvement. Pp. 60–62.](#)

**Maxim Yu. Petrukhin**, Technical Director of "Atmosphere", LLC; **Andrey A. Arbatsky**, PhD, General Director of the Research Institute of Energy-Efficient Technologies of Microclimate; **Mikhail V. Gorelov**, PhD, Associate Professor, Senior Researcher at the Research Institute of Energy-Efficient Technologies of Microclimate

- SP 60.13330.2020 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 60.13330.2020]. *Otoplenie, ventiljatsija i konditsionirovanie vozdukh* [Heating, ventilation and air conditioning]. *Aktualiz. red. SNiP 41-01-2005* [Updated version of Building Rules & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 41-01-2005]. Date of impl.: July 1, 2021. [In Russian]
- F.I. Andronov. Rotornye regeneratory dlja sistem ventiljatsii i konditsionirovanija: sdelanov Rossii* [Rotary regenerators for ventilation and air conditioning systems: Made in Russia]. *Zhurnal Santechnik, otoplenie, konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2022. No. 7. Pp. 52–54. [In Russian]
- Eurovent 6/15-2021. Air leakages in air handling units: Guidelines for improving indoor air quality and correcting performance. Eurovent Industry Recommendation (Code of Good Practice). Eurovent. Brussels, Belgium. 2021. 33 p.
- Ob utverzhenii metodicheskikh rekomendatsii po opredeleniju v sopostavimyykh usloviyakh tselevogo urovnja snizhenija gosudarstvennymi (munitsipal'nymi) uchrezhdenijami sumarnogo ob'ema potrebljaemykh imi dizel'nogo i inogo topliva, mazuta, prirodnogo gaza, teplovoj jenerгии, jelektricheskoi jenerгии, uglja, a takzhe ob'ema potrebljaemoj imi vody* [On approval of methodological recommendations for determining, under comparable conditions, the target level for reducing by state (municipal) institutions the total volume of diesel and other fuel, fuel oil, natural gas, thermal energy, electric energy, coal consumed by them, as well as the volume of water consumed by them]. *Prikaz Minjekonomrazvitiya Rossii ot 15.07.2020 №425 (red. ot 05.02.2024)* [Order of the Ministry of Economic Development of Russia No. 425 of July 15, 2020 (as amended on February 5, 2024)]. [In Russian]

[Modeling and research in COMSOL Multiphysics electrochemical method of hydrogen production for communal and domestic usage. Pp. 64–69.](#)

**Vladimir A. Suchilin**, Doctor of Technical Sciences, Professor; **Alexander S. Kochetkov**, senior lecturer; **Nikolay N. Gubanov**, senior lecturer, Russian State University of Tourism and Service (RGUTS, dp. Cherkizovo, Moscow region)

- Rynok vozobnovljaemoj jenergetiki RF: tekushchij status i perspektivy razvitiya. Chast' 1* [The market of renewable energy of the Russian Federation: current status and development prospects. Part 1]. *Zhurnal Santechnik, otoplenie, konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2023. No. 4. Pp. 68–78. [In Russian]
- Ob utverzhenii "Kontseptsii razvitiya vodorodnoj jenergetiki v Rossijskoj Federatsii"* [On the approval of the "Concept for the development of hydrogen energy in the Russian Federation"]. *Rasporjazhenie Pravitel'stva RF ot 05.08.2021 №2162-r* [Decree of the Government of the Russian No. 2162-r of August 5, 2021]. [In Russian]
- V.A. Karasevich. Ispol'zovanie sistem nakoplenija jenerгии dlja khraneniya jenerгии v avtonomnykh jenergosistemakh* [Usage of energy storage systems for distributed energy systems]. *Zhurnal Santechnik, otoplenie, konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2023. No. 7. Pp. 68–70. [In Russian]
- T. Khan, M. Yu, M. Waseem. Review on recent optimization strategies for hybrid renewable energy system with hydrogen technologies: State of the art, trends and future directions. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022. Vol. 47. Issue 60.
- Yu. Pleshivtseva, M. Derevyanov, A. Pimenov, A. Rapoport. Comparative analysis of global trends in low carbon hydrogen production towards the decarbonization pathway. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2023. Vol. 48. Issue 83.
- I.V. Varlamov, N.A. Feoktistov. *Sistemy jelektropitanija i upravlenija jelektrolizno-vodnymi generatorami* [Power supply and control systems of electrolysis-water generators. A monography]. Moscow. *Izd.-torg. korp. "Dashkov i Ko"* ["Dashkov and Co." Publishing and Trade Corp.]. 2012. 202 p. [In Russian]
- E.A. Mironov. Modelirovanie i upravlenie protsessami proizvodstva vodoroda na osnove jelektroliza [Modeling and management of hydrogen production processes based on electrolysis]. *Vestnik SamGTU. Serija: Tekhnicheskie nauki* [Bulletin of the Samara State Technical University. Series: Technical sciences]. 2023. Vol. 31. No. 2. Pp. 70–84. [In Russian]
- T. Wang, X. Cao, L. Jiao. PEM water electrolysis for hydrogen production: fundamentals, advances, and prospects. *Carbon Neutrality*. 2022. Vol. 1, Issue 21.
- W. Li, H. Tian, L. Ma, Y. Wang, X. Liu, X. Gao. Low-temperature water electrolysis: fundamentals, progress and new strategies. *Materials Advances*. 2022. Vol. 3. Issue 14.
- R. Phillips, Ch.W. Dunnill. Zero gap alkaline electrolysis cell design for renewable energy storage as hydrogen gas. *RSC Advances*. 2016. Vol. 6.
- X.Y. Wong, Y. Zhuo, Y. Shen. Numerical analysis of hydrogen bubble behavior in a zero-gap alkaline water electrolyzer flow channel. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2021. Vol. 60.
- S.M. Prasanth. High fidelity multiphase modelling of hydrogenics in zero gap alkaline water electrolyzer. Web-source: comsol.com. Access date: June 10, 2024.





5-Я ЮБИЛЕЙНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА И ФОРУМ

# RENEWEX

«Энергосбережение,  
зеленая энергетика  
и электротранспорт»

**18–20 ИЮНЯ 2024**

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

## КЛЮЧЕВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ



Ветроэнергетика



Солнечная энергетика



Электротранспорт и зарядная инфраструктура



Водородная энергетика



Гидроэнергетика



Биоэнергетика, биогаз и твердое биотопливо



Микрогенерация



Энерго- и ресурсосберегающие технологии

Реклама 12+



[www.renwex.ru](http://www.renwex.ru)



Организатор

ЭКСПОЦЕНТР

Под патронатом



СКОМПЛЕКТУЕМ  
ЛЮБОЙ ОБЪЕКТ

ПРОГРАММА ЛОЯЛЬНОСТИ  
ДЛЯ КЛИЕНТОВ

Особые условия и скидки в личном кабинете

Начисление бонусов с каждой покупки

Оплата товаров бонусами

БОЛЕЕ 24 500 SKU  
В НАЛИЧИИ НА СКЛАДЕ



БЕСПЛАТНАЯ ДОСТАВКА  
ПО ВСЕЙ РОССИИ



55 ФИЛИАЛОВ  
В 36 ГОРОДАХ

16 ЛЕТ  
НА РЫНКЕ

150+  
ПАРТНЕРОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, МОНТАЖ, СЕРВИС,  
ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ



АРЕНДА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ИНСТРУМЕНТА

