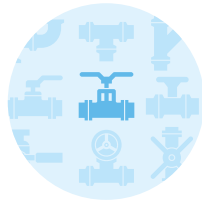




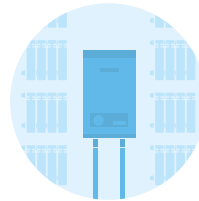
7

Материалы
конференции.
BIM & BEM 2022



12

Испытания
трубопроводной
арматуры



32

О перспективах
применения
электрокотлов



40

VRF или чиллер?
Сравнительный
анализ. Часть 2



www.ROYAL.ru

ROYAL FRESH

ИНВЕРТОРНАЯ СПЛИТ-СИСТЕМА
С ФУНКЦИЕЙ ПРИТОКА И ОЧИСТКИ
СВЕЖЕГО ВОЗДУХА

МОЩНОСТЬ ПРИТОКА

60 м³/ч



Подробнее на сайте
www.fresh.royal.ru



Смотреть видео
ROYAL FRESH

ДЕЙСТВИТЕЛЬНО СВЕЖИЙ ВОЗДУХ



Высокая энерго-
эффективность



Любое
направление
потока воздуха



Расширенная
гарантия



7 скоростей
вентилятора



Управление
по Wi-Fi



Тише, чем шелест
листьев — от 18 дБ(А)



Deluxe S



**Чемпион продаж 2.0
Мы улучшили все.**



Европейский тип
расположения
гидравлической группы



Deluxe Expert



**Двухконтурный
газовый котел
для тендерных
поставок**

Идеальное соотношение
цены и качества



NAVIEN - Марка №1 в России

Нам доверяют миллионы российских потребителей.



8 лет подряд №1 в России

Абсолютный лидер продаж в сегменте настенных газовых котлов
с самой большой долей рынка.

самые продаваемые настенные
газовые котлы в России*

 **NAVIEN**

Новое поколение комфорта в вашем доме



Корейский тип
расположения
гидравлической группы



Deluxe Comfort



Настенный газовый одноконтурный котел

Сенсорная панель
управления.



Deluxe One



100% Made in Korea

Котлы и все комплектующие к ним производятся исключительно на собственных заводах в Корее.



550+ региональных сервисных центров

Склады запасных частей во всех регионах РФ. Запчасти всегда в наличии. NAVIEN предоставляет расширенную трехлетнюю гарантию, при своевременном обслуживании котлов в авторизованных сервисных центрах.

VIM & VEM 2022

[В рамках Aquatherm Moscow прошла конференция VIM & VEM 2022](#)

На V Ежегодной конференции VIM & VEM 2022, организованной журналом СОК, были рассмотрены вопросы комплексного применения цифровых технологий при проектировании зданий, сооружений и их инженерных систем, а также использования BIM-технологий при обслуживании объектов строительства.

7



[Испытания трубопроводной арматуры. Прошлое и сегодняшний день](#)

После революции 1917 года частная собственность, предприятия и инфраструктура в Российской империи перешли под контроль новых властей. Много лет большевики пользовались этим наследием: станками, машинами, котельными, пароводопроводными системами, отопительным и сантехническим оборудованием...

12



[Применение электродкотлов для автономного тепло-снабжения малой мощности](#)

«Отопление электричеством — самый дорогой способ поддержания температуры в помещении». Это заявление считается категорическим императивом — безусловным принципом для всех систем отопления. Но действительно ли оно настолько верно, если рассматривать весь объём затрат?

32



[Сравнение фреоновых и водяных систем кондиционирования](#)

Продолжаем публиковать статью, в которой автор приводит сравнительный анализ фреоновых и водяных систем кондиционирования воздуха и пытается ответить на вопрос: VRF или чиллер? Что больше подходит для конкретного объекта? Представляем читателям вторую часть материала.

40



[Энергосистемы с ВИЭ: каковы погодные риски?](#)

В 2021 году появились новые прецеденты влияния погодных условий на функционирование энергетических систем в США и Европе. Энергетический рынок всегда активно реагирует на погодные аномалии: в случае похолодания или аномальной жары неизбежны веерные отключения электричества и резкие колебания цен на энергоносители...

44



[Энергетическая общественность России в 1880–1992 годах](#)

В развитии науки и инженерного дела важную роль играет общение специалистов, представителей государства и общественных структур. Оно отражено в статьях и книгах. Но фрагментарность изложения материалов в них обуславливает необходимость объединения их содержания в единый исторический процесс.

52

Учредитель и издатель

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

Директор

Константин Михасев

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 ВПО «МГСУ»

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

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

Секция «Отопление и ГВС»

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

А.Б. Невзорова, д.т.н., проф., БелГУТ

П.И. Дячек, д.т.н., проф., БНТУ

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., СПбГАСУ

Г.М. Позин, д.т.н., проф., СПбГУТД

В.И. Прохоров, д.т.н., проф. кафедры «ТГИВ», НИУ МГСУ

Секция «Энергосбережение»

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

О.А. Сотникова, д.т.н., проф., ВГТУ

С.К. Шерязов, д.т.н., проф., ФГБОУ ВО УрГУ

А.Б. Невзорова, д.т.н., проф., БелГУТ

Секция «ВИЭ»

В.В. Елистратов*, д.т.н., проф., ФГБОУ ВПО 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., НИУ «МЭИ»

А.Б. Невзорова, д.т.н., проф., БелГУТ

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

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

Секция «Биоэнергетика»

Р.Г. Васильев*, д.б.н., проф., президент ОБР

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

В.В. Масоедова, д.х.н., проф., эксперт РАН, ФБГУН ИХФ РАН

А.Н. Васильев, д.т.н., проф., ВИЭСХ ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

* Руководитель секции.

Адрес редакции: 143085, Московская обл., Одинцовский

район, раб. пос. Заречье, ул. Тихая, д. 13, корп. 2

Тел/факс: +7 (495) 665-00-00

E-mail: 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, www.forum.c-o-k.ru

Отпечатано в типографии

«Тверской Печатный Двор» (адрес: 170518, Тверская обл.,

Налининский р-н, с. Никольское, д. 26)

Тираж 15 000 экз. Цена свободная.

Выпуск № 242 (02/2022). Дата выхода: 28.02.2022.

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

ISSN 1682-3524

Новости

4

События

[В рамках выставки Aquatherm Moscow прошла конференция ВИМ & ВЕМ 2022](#)

7

Новинки

[Продукт. Партнёры. Команда.](#)

[Три важнейших элемента экосистемы «БРИЗ»](#)

8

Сантехника и водоснабжение

[Испытания трубопроводной арматуры — прошлое и настоящее](#)

12

[Модернизация одного из лучших компакт-унитазов Европы для обеспечения его полного соответствия требованиям ГОСТ](#)

16

[Удаление бора из воды с использованием обратного осмоса](#)

22

Отопление и ГВС

[Регенерация, утилизация и интеграция теплоты](#)

25

[20 лет — полёт нормальный: юбилей компании «БДР Термия Рус»](#)

26

[ИЭМЗ «Купол»: высокие технологии оборонпрома — гражданскому производству](#)

30

[О перспективах применения электродов для автономных систем теплоснабжения малой мощности](#)

32

[Синтез теплообменных сетей с учётом локации теплоисточников, стоков и утилит](#)

36

Кондиционирование и вентиляция

[Долгая история и серьёзные проекты «ВЕЗА»](#)

38

[VRF или чиллер? Сравнительный анализ современных фреоновых и водяных систем кондиционирования воздуха. Часть 2](#)

40

Энергосбережение и ВИЭ

[Погодные риски в энергосистемах с возобновляемыми источниками энергии](#)

44

[Энергоэффективность «умного дома» как главная составляющая комфорта владельца](#)

48

[Энергетическая общественность России в 1880–1992 годах](#)

52

[Актуальность создания многофункциональных энерготехнологических комплексов на базе паропоршневой машины](#)

60

[Анализ зависимости тепловой энергии, затраченной на отопление и охлаждение зданий, от различных факторов](#)

64

[Особенности запуска однолопастных ветроэнергетических установок малой мощности](#)

68

[Моделирование и оптимизация в COMSOL Multiphysics малых ветроэнергетических установок](#)

72

References

79

Одной строкой

:: Приоритетным в работе экологического блока Правительства России в 2022 году станет новое природоохранное регулирование, среди основных направлений которого находятся законы о вторичных материальных ресурсах и о расширенной ответственности производителей и импортеров за утилизацию товаров и упаковки (РОП). Важными изменениями законодательной базы также станут запрет на перевалку опасных грузов с судна на судно за границами морских портов и конфискация лесозаготовительного оборудования, которое используется в отсутствие законных оснований осуществления вырубki лесных насаждений. Об этом сообщает пресс-служба вице-премьера Российской Федерации Виктории Абрамченко.



:: Минстрой России утвердил Изменение №1 к СП 89.13330.2016 «Котельные установки», который является актуализированной редакцией СНиП II-35-76. Свод правил используется при проектировании, строительстве, реконструкции, капитальном ремонте, расширении и техническом перевооружении котельных, генерирующих тепловую энергию в виде пара и горячей воды для производственных нужд и целей теплоснабжения зданий и сооружений различного назначения.



:: В 2021 году мир инвестировал рекордные \$755 млрд в глобальный энергетический переход. Это на 27% больше, чем в 2020 году. Китайская Народная Республика стала инвестиционным лидером, вложив в прошлом году \$266 млрд. За ней следуют США с инвестициями в размере \$114 млрд. В первую пятёрку инвесторов также вошли Великобритания, Германия и Франция. По оценкам BNEF, несмотря на рекордно высокие глобальные вложения в энергопереход, этого недостаточно, чтобы к 2050 году вывести мир на нулевой уровень выбросов углерода.

Xylem

Новое решение для мониторинга состояния насоса – optimize™



Компания Xylem представляет optimize™ — решение для дистанционного мониторинга состояния насоса. Данное устройство разработано для того, чтобы предоставить расширенные возможности, которые помогут эффективно контролировать и оптимизировать насосную систему.

Optimize™ предоставляет информацию о состоянии и рекомендации по профилактическому техническому обслуживанию оборудования, такого как насосы, электродвигатели, теплообменники и конденсатоотводчики. Устройство периодически отслеживает вибрацию и температуру системы и обеспечивает пользователям доступ к простым в использовании инструментам мониторинга с мобильных устройств iOS или Android.

В optimize™ информация регистрируется, собирается, хранится и анализируется. Это позволяет пользователю понять текущее состояние и тенденции работы оборудования, создавать напоминания о техническом обслуживании и компилировать подробные отчёты. В результате пользователь может провести профилактическое обслуживание до того, как проблемы станут критическими для сохранения бесперебойной работы.

Приложение для мобильных устройств Xylem optimize™ доступно в магазинах приложений App Store для iOS и Google Play для Android.

Водоснабжение

Итоги федерального проекта «Чистая вода» в 2021 году



В 2021 году по федеральному проекту «Чистая вода» обеспечено качественной водой из систем централизованного водоснабжения 850 тыс. человек.

В рамках еженедельного заседания президиума Правительственной комиссии по региональному развитию в Российской Федерации под председательством заместителя председателя Правительства РФ Марата Хуснуллина, министр строительства и ЖКХ РФ Ирек Файзуллин доложил об итогах работы отрасли жилищно-коммунального хозяйства за 2021 год и о планах на 2022-й. Кроме того, были рассмотрены предварительные заявки субъектов на финансирование проектов по строительству, реконструкции, модернизации инфраструктуры за счёт средств Фонда национального благосостояния (ФНБ).

«Наша цель — замена не менее пяти процентов изношенных коммунальных сетей в год», — сказал вице-премьер и акцентировал внимание глав субъектов на необходимости утверждения и реализации новых инвестиционных программ в коммунальной отрасли, направленных на модернизацию основных фондов.

«Порядка 260 объектов было построено в 247 населённых пунктах, это позволило обеспечить 850 тысяч человек качественной водой из систем централизованного водоснабжения. В этом году планируем реализовать более 370 объектов. Вопрос обеспечения людей качественной водой является одним из приоритетных. Капитальный ремонт выполнен в 54,4 тысячах МКД, в которых проживает 7,2 миллионов человек, это на десять процентов больше, чем в 2020 году. Будем продолжать активно работать над системной модернизацией жилищно-коммунального хозяйства», — отметил министр строительства и ЖКХ РФ.

Ирек Файзуллин также напомнил главам субъектов Российской Федерации о том, что необходимо ускорить работу по первичной инвентаризации систем и объектов жилищно-коммунального хозяйства.

Bosch и Buderus

Великолепная сотня: оборудование брендов Bosch и Buderus признано лучшим

Подведены итоги Всероссийского конкурса «100 лучших товаров России». В 2021 году в число дипломантов и лауреатов снова вошло оборудование брендов Bosch и Buderus.

Лауреат — Logamax U072

Лауреатом конкурса по итогам 2021 года признаны отопительные настенные котлы Buderus модель Logamax U072. Они рассчитаны на российские условия и сохраняют работоспособность, даже если напряжение в сети падает. В линейке Logamax U072 пять вариантов мощности — от 12 до 34 кВт.



Преимущества котлов Logamax U072 являются небольшой вес, компактность, незначительный уровень шума при работе и модулируемый вентилятор. Все котлы линейки имеют встроенную защиту от замерзания.

Дипломант — Logano SK655/SK755

Стальные напольные котлы Logano SK655/SK755 торговой марки Buderus — это оборудование, предназначенное для использования в системах отопления и горячего водо-

снабжения многоквартирных домов, а также для коммерческих и общественных зданий, небольших производственных предприятий. Диапазон мощности Logano SK655 варьируется от 120 до 360 кВт; Logano SK755 — от 420 до 1850 кВт. Котлы могут эксплуатироваться с горелками на природном газе и/или жидком топливе, они поставляются полностью готовыми к установке.



Дипломант — Unimat UT-L

Это стальной трёхходовой котёл для приготовления горячей воды с температурой теплоносителя до 115 °С и давлением до 16 бар. Оборудование подходит для различных систем теплоснабжения, в том числе низкотемпературных магистральных сетей.

Диапазон мощности котлов Unimat UT-L составляет от 750 кВт до 19,2 МВт. Они эксплуатируются с горелками на жидком топливе и/или природном газе.

Данная линейка применяется для отопления многоквартирных домов и социальных объектов, а также промышленных предприятий. КПД котла достигает 95%.

Одной строкой

:: Новый федеральный проект «Комплексная система мониторинга окружающей среды» будет запущен в рамках нацпроекта «Экология» в 2022 году. Его целью станет создание к 2030 году информационного ресурса, который объединит все данные по стране о состоянии воды, почвы, выбросах и источниках негативного воздействия, сообщает пресс-служба вице-преьера РФ Виктории Абрамченко.

:: На заседании Совета по науке и образованию Владимир Путин отметил, что России нужны собственные расчёты климатических рисков. Для этого необходимо создать собственную научную базу для оценки.



:: Солнечная электроэнергетика внесла решающий вклад в прирост генерации из возобновляемых источников (ВИЭ) в Европейском союзе в 2021 году, следует из данных исследовательского центра Ember. Выработка ветровыми станциями в 27 странах ЕС по итогам прошлого года снизилась на 2%, до 387 ТВт·ч, а на гидроэлектростанциях — на 0,3% (до 348 ТВт·ч), тогда как на биоэнергетических установках её прирост составил 5% (до 167 ТВт·ч), а на солнечных панелях — 10% (до 159 ТВт·ч).



:: Крупнейшие компании мира провалили свои планы по борьбе с изменением климата. Такие выводы сделаны в отчёте организации New Climate Institute. Совместно с Carbon Market Watch она провела мониторинг стратегий по изменению климата 25 компаний, среди которых Google, Amazon, IKEA, Apple и Nestle. Согласно исследованию, все компании искажают свои отчёты о борьбе с изменением климата, пишет BBC.

ТПХ «Русклимат»

Royal Thermo выпустила новые радиаторы

«Русклимат» представляет новую линейку радиаторов Royal Thermo — вертикальные дизайн-радиаторы Flat Collection глубиной всего лишь 64 мм! Благодаря минималистичной гладкой поверхности и актуальным цветам они станут стильным акцентом в интерьере и легко справятся с обогревом помещений до 30 м². Это идеальное решение для тех, кто ищет лаконичный радиатор с высокой теплоотдачей и хочет эффективно использовать каждый сантиметр пространства. Новые вертикальные дизайн-радиаторы Flat Collection это: три цвета — Bianco Traffico, Silver Satin, Noir Sable; две высоты — 1800 и 2000 мм; три ширины — 300, 400 и 500 мм; компактная глубина — 64 мм; теплоотдача от 1700 до 2900 Вт; всё для монтажа в комплекте.



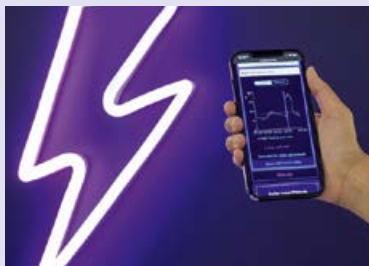
Источник: ТПХ «Русклимат»

Одной строкой

По информации «Россети Юг», в распределительные сети в 2021 году поступило 2,6 млрд кВт·ч электроэнергии от возобновляемых источников (ВИЭ), что в 1,7 раза больше показателя за 2020 год. Объём поставок электроэнергии, выработанной ветром, при этом возрос в 1,8 раза.



В США планируют реализовать Project Nexus, который предполагает установку солнечных электростанций над каналами. Эта концепция родилась из исследования 2021 года, проведённого в Калифорнийских университетах в Мерседе и Санта-Крус, в котором был доказан ряд преимуществ установки солнечных панелей над открытыми водными каналами.



«Оплата домохозяйствам за неиспользование электричества в часы пик» — это пилотный проект британской энергокомпании Octopus Energy и сетевого оператора National Grid. Программа поможет снизить уровень потребления энергии в часы пиковых нагрузок.



Представители 195 стран мира приступили к обсуждению второго научного доклада ООН с самыми последними данными об изменении климата. Консультации продлятся до 25 февраля. Первый доклад обсуждался на конференции в Глазго. Начавшееся обсуждение проходит в рамках Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК).

Clivet

Итоги конкурса «Clivet: HVAC проекты»



Компания Clivet провела конкурс для проектировщиков «Clivet. HVAC проекты», по итогам которого были выбраны три призёра.

Приз \$ 1000 за третье место (бронза) получил **С. В. Панкратов** (компания «Clivet-Урал») за проект «ММЦ УГМК «Здоровье». Данный проект интересен нестандартным решением систем тепло- и холодоснабжения на основе мультифункциональных тепловых насосов Clivet WSA-N-XSC3 MF 360.6 общей мощностью 1800 кВт. Особенностью системы является одновременное обеспечение потребности в холоде и тепле на всём температурном диапа-

зоне работы оборудования (от -10 до +35 °С), что позволило применить это решение для осушения воздуха в приточно-вытяжных установках, при подготовке ГВС и подогреве воды для четырёхтрубных фанкойлов.

Приз \$2000 за второе место (серебро) присуждён **С. В. Мазикину** (компания «Аэродин») за проект «Склад хранения медицинских препаратов с административно-бытовыми помещениями, Новосибирская область». Несмотря на то, что данный проект не является большим, и система ОВК реализована на основе трёх руфтопов Clivet CSRN-XHE233.4 с общей холодильной мощностью около 320 кВт, он является примером того, как оригинальный и качественно выполненный проект может решить поставленные заказчиком непростые задачи.

Приз \$3000 за первое место (золото) завоевала **Элиза Ришатовна Кузьмина** (компания ГК «72 Меридиан»).

ВИЭ

Олимпийские игры 2022 года в Пекине названы «углеродно нейтральными»

Китай выполняет взятое на себя обязательство провести Олимпийские игры 2022 года с нулевыми выбросами углерода.

Впервые на Олимпийских играх все объекты питаются от ВИЭ, используя только энергию ветра, воды и солнца. На одном из трёх олимпийских объектов — Чжанцзякоу (в 200 км от Пекина) — смонтированы ветряные электростанции, которые могут производить до 14 млн кВт·ч электроэнергии. Также на склонах гор установлены солнечные батареи, которые дополнительно производят 7 млн кВт·ч. Электричество передаётся по линиям передачи постоянного тока на площадки и ГАЭС «Фэннин» в провинции Хэбэй. Гидроаккумулирующая электростанция накапливает избыточную энергию днём, а вечером подаёт накопленную энергию на олимпийские объекты, освещая их. В итоге ГАЭС «Фэннин» стала крупнейшим хранилищем энергии в мире. Отчёт об устойчивом развитии перед Играми в Пекине за 2022 год сообщает об экологичном транспорте: энергосберегающие и экологически безопасные транспортные средства составляют 100% всех легковых автомобилей и 85% всех транспортных средств. Это рекорд в истории зимних Олимпиад.



Ritter Energie- und Umwelttechnik

Парадигма: новая категория продуктов для отопления

Немецкая фирма Ritter Energie- und Umwelttechnik GmbH & Co. KG (Paradigma) разработала продукт, открывший новую категорию товаров на рынке отопления. Новый продукт Pelcompact представляет собой пеллетный котёл (12 кВт) и центр хранения энергии. Компактный, с различными предварительными установками, он предназначен для быстрой инсталляции системы отопления на пеллетах для небольших площадей. Конструкция центрального накопителя сочетает в себе буферный бак на 360 л со станцией проточного ГВС (25 л/мин.), управление двумя отопительными контурами и возможность интеграции гелиосистемы AquaSolar. В сочетании с пеллетным котлом Peleo Pelcompact является эффективным и экономичным компактным отопительным центром для всего дома.



СОБЫТИЯ

В рамках Aquatherm Moscow прошла конференция BIM & BEM 2022

В ходе V Ежегодной конференции BIM & BEM 2022, организованной журналом СОК, были рассмотрены вопросы комплексного применения цифровых технологий при проектировании зданий, сооружений и их инженерных систем, а также использования данных технологий при обслуживании объектов строительства. Конференция носила дискуссионный характер.



Материалы V Ежегодной конференции BIM & BEM 2022 на сайте журнала СОК

В конференции приняли участие ведущие эксперты по BIM и BEM-технологиям. На мероприятии выступил А. М. Гримитлин, президент АС «АВОК Северо-Запад» и вице-президент НОПРИЗ с докладом «Цифровая библиотека типовых инженерных узлов систем отопления, вентиляции и кондиционирования». Рашид Артиков, заместитель председателя Центра компетенций ресурсосбережения, энергоэффективности и экологии, затронул проблему создания цифровых двойников инженерного оборудования отечественного производства.

О прикладных аспектах анализа цифровой информационной модели инженерных систем зданий с применением MagiCAD рассказал Евгений Криницкий, технический директор ООО «ГК ВентСофт». Генеральный директор компании «Академия BIM» Александр Осипов познакомил профессионалов с G-smart Electro — BIM-инструментом для проектирования сетей электроснабжения.

Представитель польской компании Sankom Sp. z o.o. Виталий Батухтин рассказал о применении программ Audytor в реалиях российского проектировщика и BIM-проектирования.

От компании CSD в BIM & BEM 2022 приняли участие Ирина Аверяскина, технический эксперт по направлению «Технологическое проектирование», и Антон Ярьско, руководитель направления «Решения для разработки и производства». Специалисты поделились с присутствующими опытом применения технологии информационного моделирования при проектировании объектов промышленного назначения, а также подробно рассказали, как организовать эффективное взаимодействие с поставщиками инженерного оборудования.

С российской системой информационного моделирования и 3D-проектирования внутренних инженерных систем зданий и сооружений посетители познакомил Сергей Осминов, ведущий специалист Отдела комплексных решений ГК «СиСофт» (CSoft).

Важную тему «Цифровой двойник объекта на стадии эксплуатации» раскрыл эксперт в области цифрового строительства, к.т.н. Пётр Манин.

Общий обзор зарубежного и отечественного программного обеспечения для информационного моделирования инженерных систем сделал Александр Лапыгин, генеральный директор компании «Росэко-Стройпроект».



Михаил Косарев, руководитель Центра компетенций по технологиям информационного моделирования (ТИМ) АО «ДОМ.РФ», руководитель блока обучения «Технологии информационного моделирования (ТИМ)» «Цифровой академии АО «ДОМ.РФ», директор подразделения «Методология и стандарты цифрового строительства» АО «Банк ДОМ.РФ», сделал доклад, мотивирующий производителей на активные действия: *«Времени на ТИМ-раскачку нет! Старт проектов с ТИМ: 2022 год — гособъекты, 2023 год — коммерческое жилищное строительство. Производителям оборудования, материалов и изделий — приготовиться!»*

Представитель отечественной ИТ-компании Renga Software маркетинг-менеджер Ирина Брылёва рассказала об инженерной BIM-модели для повышения эффективности проектной организации.

Мероприятие завершилось очень интересным выступлением об автоматизации расчётов и экспертизы смет по BIM. Раскрыл тему руководитель отдела продвижения продуктов информационного моделирования компании «ВизардСофт» Николай Самопал. ●

НОВИНКИ



КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ | ВЕНТИЛЯЦИЯ | ОТОПЛЕНИЕ
ОБРАБОТКА ВОЗДУХА | ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ

Продукт. Партнёры. Команда. Три важнейших элемента ЭКОСИСТЕМЫ «БРИЗ»

Компания [«БРИЗ — Климатические системы»](#) — комплексный поставщик климатического оборудования с 1993 года.

Сегодня [«БРИЗ — Климатические системы»](#) занимает верхние строчки рейтингов дистрибьюторских компаний, поставляющих на рынок бытовое, полупромышленное и промышленное климатическое оборудование. Компания активно участвовала в развитии климатического рынка, создавая новые продукты, внедряя новые технологии, при этом оставаясь верной традициям и всегда следуя принципам честного и открытого партнёрства.

Продукт, который мы предлагаем рынку, — это всегда совокупность качественного современного оборудования и лучших сервисов для партнёров:

- продуманная логистика;
- маркетинг и реклама;
- техническая поддержка;
- Академия знаний.

По всему спектру продукции [«БРИЗ — Климатические системы»](#) осуществляет полную техническую поддержку партнёров компании. Эксперты отдела технической поддержки помогают подобрать оборудование, разработать комплексные технические решения для различных объектов, в том числе для сложных и нестандартных проектов. 20 региональных дистрибьюторских центров обеспечивают оперативные поставки оборудования, охватывая всю территорию России.

Большое внимание в компании [«БРИЗ — Климатические системы»](#) уделяется обучению сотрудников компаний-партнёров. Доступны офлайн- и онлайн-мероприятия. В конце 2021 года компания запустила серию тест-драйвов новейшего оборудования в ассортименте [«БРИЗ»](#). Мероприятия прошли в Москве, Санкт-Петербурге, Перми, Уфе, Волгограде, Воронеже, Екатеринбурге, Казани, Ростове-на-Дону, Новосибирске, Нижнем Новгороде и Самаре.

Участники — сотрудники монтажных и торговых компаний, проектных организаций — смогли не только получить исчерпывающую информацию о новинках, но и лично увидеть действующее оборудование, опробовать его в работе, получить ответы на интересующие вопросы.

Такой формат получил высокую оценку у партнёров, поэтому компания включила тест-драйвы в регулярную программу мероприятий «Академии знаний».

[«БРИЗ — Климатические системы»](#) регулярно запускает масштабные федеральные и региональные рекламные кампании, направленные на повышение узнаваемости торговых марок, повышение осведомлённости конечных потребителей о новых продуктах, преимуществах современных технологий.

«БРИЗ — Климатические системы» занимает верхние строчки рейтингов дистрибьюторских компаний, поставляющих на рынок бытовое, полупромышленное и промышленное климатическое оборудование. Компания всегда активно участвовала в развитии климатического рынка, создавая новые продукты и внедряя новые технологии

Благодаря отлаженной схеме взаимодействия с партнёрами и внутри команды [«БРИЗ»](#), слаженной работе технических специалистов и инженеров, специалистов по логистике и маркетологов, компания оперативно реагирует на изменение ситуации на рынке и изменяющийся спрос, всегда предлагая современное технологичное оборудование, которое адаптировано к российским климатическим условиям.

Полный спектр высококачественного оборудования и всесторонняя поддержка позволяют партнёрам компании [«БРИЗ»](#) расти и предлагать потребителям комплексные решения, удовлетворяя спрос во всех уголках России и на территории стран Таможенного союза (ЕАЭС).

В 2022 году компания представляет целый ряд новинок, которые соответствуют трендам в области технологий и инноваций отрасли и будут по достоинству оценены конечными потребителями.

Новинки климатического рынка 2022 от компании «БРИЗ – Климатические системы»

Водонагреватели PHILIPS

С 2022 года компания «БРИЗ — Климатические системы» эксклюзивно представляет в России водонагреватели ведущего мирового бренда PHILIPS.

Продукция PHILIPS широко известна и востребована у потребителей во всём мире благодаря высокому качеству, надёжности и технологичности и, несомненно, станет драйвером продаж и украшением ассортимента водонагревательного оборудования.

Уникальные технические решения PHILIPS

- Надёжная техника с расширенной гарантией до 10 лет!*
- Четыре серии водонагревателей — круглые и плоские с внутренними баками из нержавеющей стали или стальные с эмалированным покрытием.

* Гарантия на водонагреватели PHILIPS составляет 10 лет при условии прохождения регулярного технического обслуживания бака водонагревателя не реже чем раз в 12 месяцев.



Водонагреватели PHILIPS — это не только высокое качество, надёжность и технологичность, это ещё и достойный элемент интерьера ванной комнаты покупателя

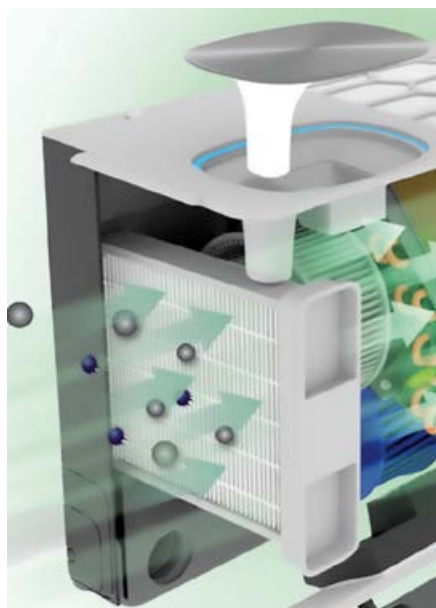
- Премиальный дизайн и матовое покрытие корпуса водонагревателей.
- Встроенное устройство защитного отключения (УЗО) и диэлектрические проводники Static Care.
- «Сухие» ТЭНы Dry Shell, обеспечивающие быстрый нагрев воды и долгий срок службы.
- Фильтр/ингибитор солеотложения, предотвращающий образование накипи и осадка в баке и увеличивающий срок службы водонагревателя (опция).
- Специальный режим Optimal Temp для соблюдения оптимального баланса между расходом электроэнергии и поддержанием комфортной температуры воды, а также минимизации образования накипи и осадка в баке.
- Все водонагреватели PHILIPS застрахованы на \$ 1 000 000.
- Водонагреватели PHILIPS — это качественное технологичное оборудование с высокой маржинальностью для дилера и доступными ценами для конечного покупателя. ●

ROYAL FRESH: первый кондиционер от ROYAL Clima с притоком свежего воздуха и управлением по Wi-Fi

В разгар пандемии, когда люди проводят большую часть дома, особенно важно обеспечить чистый и свежий воздух в квартире. Обычный кондиционер способен только охладить или нагреть воздух, циркулирующий в помещении. ROYAL Clima представляет новый кондиционер ROYAL FRESH с функцией притока и очистки свежего воздуха. Два прибора в одном: инверторный кондиционер и приточ-



ROYAL FRESH — инверторные сплит-системы с функцией притока и очистки свежего воздуха



ROYAL FRESH: HEPA-фильтр класса H11 задерживает до 95% загрязнений размером от 3 мкм

ная вентиляция, которая подаёт воздух с улицы в объёме до 60 м³/ч. Этого достаточно для двух человек, постоянно находящихся в помещении площадью более 20 м².

Высокоэффективный HEPA-фильтр класса H11 задерживает до 95% мельчайших частиц пыли, сажи, пыльцы, споров грибов и других загрязнителей размером от 3 мкм, делая свежий уличный воздух чистым и безопасным, а ультрафиолетовое излучение эффективно и быстро уничтожает болезнетворные бактерии, споры грибов, а также штаммы вирусов гриппа и новой коронавирусной инфекции SARS-CoV-2.

Ультрафиолетовые лампы обрабатывают поступающий воздух, а также обеззараживают теплообменник, нейтрализуя 99,9% бактерий, вирусов и плесневых грибов.

Чистый, насыщенный кислородом воздух, пройдя систему очистки, благодаря клапану-отражателю поступает в воздухозаборник вну-

тренного блока кондиционера ROYAL FRESH, где смешивается с циркулирующим по помещению воздухом и попадает на теплообменник, где нагревается или охлаждается, после чего через жалюзи попадает в помещение — очищенный, насыщенный кислородом и нужной температуры.



ROYAL FRESH: отверстие для подачи свежего воздуха с клапаном-отражателем

Целых 14 вертикальных жалюзи уникальной формы с перфорацией позволяют создавать мягкий и объёмный воздушный поток, обеспечивая комфортный для пользователя процесс охлаждения. Благодаря специальной конструкции горизонтальной створки жалюзи на выносных ножках с тремя шаговыми двигателями возможно выбрать любое направление воздушного потока. Современный эргономичный пульт с большим информативным дисплеем и подсветкой позволяет легко выбрать нужную температуру с шагом 0,5°C и следить за параметрами в режиме реального времени.



•• **ROYAL FRESH** — любое направление воздуха. Эргономичный пульт ДУ. Управление по Wi-Fi



•• **ROYAL FRESH**: уникальные горизонтальные и вертикальные жалюзи позволяют настроить любое направление потока воздуха

Благодаря встроенному Wi-Fi-модулю настраивать микроклимат можно со смартфона. Такое решение позволяет не только упростить процесс эксплуатации прибора, но и расширить возможности управления: в мобильном приложении есть дополнительные функции, недоступные с пульта, например, запуск внеочередной самодиагностики.

Функция самодиагностики и самоочистки теплообменника замораживанием надёжно защищает и пользователя, и кондиционер, продлевая срок службы оборудования. Микрочастицы и пыль на теплообменнике внутреннего блока снижают эффективность прибора и могут нанести вред здоровью человека. При активации функции самоочистки на теплооб-

меннике внутреннего блока намораживается слой инея, который при нагревании тает, и загрязнения удаляются вместе с образовавшейся водой через дренажную систему. Затем теплообменник стерилизуется нагревом до +56°C. На финальном этапе температура теплообменника нормализуется в процессе вентиляции. Для наружного блока функция самоочистки происходит посредством продувки: вентилятор автоматически запускается в обратном направлении, удаляя с теплообменника накопившуюся пыль, поддерживая наружный блок в чистоте.

Сочетание функций притока, очистки и циркуляции воздуха при минимальном уровне шума, а также самоочистка делают сплит-систему **ROYAL FRESH** поистине уникальной! ●

Климатический комплекс **FUNAI TORII**

Чтобы создать комфортную и здоровую атмосферу там, где мы проводим много времени, — дома или в офисе, важно обеспечить качественную очистку и увлажнение воздуха.

Новый климатический комплекс **TORII** от **FUNAI** — это два прибора в одном: очиститель воздуха и увлажнитель естественного типа увлажнения. Прибор прекрасно подойдёт для помещений площадью до 55 м². Бак для воды объёмом 6 л и максимальная производительность до 600 мл/ч обеспечивают десять часов непрерывной работы без долива воды.

Благодаря встроенному гигростату можно устанавливать желаемый уровень влажности в помещении с точностью до 1%. В устройстве предусмотрен деликатный способ увлажнения воздуха, который препятствует образованию капель и налёта. Воздух проходит через влажный фильтр и выходит наружу, а влага естественным образом усваивается в воздухе.

В климатическом комплексе **TORII** предусмотрена качественная многоуровневая очистка воздуха в три этапа:

- фильтр первичной очистки улавливает тополиный пух, крупные частицы пыли, шерсть;
- HEPA-фильтр класса H10 очищает от мелких частиц пыли, аллергенов, бактерий и неприятных запахов;
- ультрафиолетовая лампа стерилизует воздух, уничтожает бактерии и вирусы.

TORII абсолютно безопасен — при таком типе увлажнения не образуется горячий пар, поэтому обжечься невозможно, а уровень влажности никогда не превысит норму, поэтому пользователю не нужно постоянно следить за показателями влажности.

Управлять климатическим комплексом очень легко. На информативном LED-дисплее отображается вся необходимая информация о работе прибора: уровень влажности, температура, таймер, режимы работы и активные функции (очистка, УФ-стерилизация), скорость вращения вентилятора и даже специальная индикация, которая подскажет оптимальное

время для замены фильтра. Для контроля уровня влажности предустановлена цветовая индикация. В комплекте прилагается лаконичный пульт дистанционного управления. Специальная ниша для хранения пульта на корпусе прибора — удобное и практичное решение: теперь пульт не потеряется. Кнопки расположены на верхней панели, что делает процесс управления прибором простым и удобным.

Комплекс **TORII** имеет лаконичный дизайн в чёрном цвете и универсальную форму прямоугольной призмы. Мягкую подсветку климатического комплекса **TORII** можно при желании отключить. ●



•• Климатический комплекс **FUNAI TORII**. Два прибора в одном: очиститель воздуха и увлажнитель естественного типа увлажнения



❖ Вся палитра стилей в линейке кондиционеров серии [CRYSTAL](#) от [HISENSE](#)

Вся палитра цветовых решений [CRYSTAL](#) от [HISENSE](#)

Самая заметная новинка [HISENSE](#) в 2022 году — линейка кондиционеров серии [CRYSTAL](#), раскрывающая большие возможности для воплощения самых смелых дизайнерских идей. При создании новой линейки разработчики [HISENSE](#) учли не только функциональные требования к современному климатическому оборудованию, но и самые актуальные тенденции в области проектирования дизайна интерьера. Линейка кондиционеров [CRYSTAL](#) поможет реализовать смелые дизайнерские идеи, создавая гармоничное и технологичное пространство современного жилого помещения или офиса.



❖ Инверторные сплит-системы [HISENSE](#) серии: [RED CRYSTAL](#), [CHAMPAGNE CRYSTAL](#), [SILVER CRYSTAL](#), [BLACK CRYSTAL](#) и [PREMIUM DESIGN CRYSTAL](#)

В линейке из пяти цветов скрыт потенциал для сотен оригинальных дизайнерских решений, в том числе таких, где кондиционер становится заметным элементом интерьера или даже арт-объектом. Помимо моделей в классическом белом цвете в линейке представлены серии [CHAMPAGNE CRYSTAL](#), [RED CRYSTAL](#), [BLACK CRYSTAL](#) и [SILVER CRYSTAL](#). Все кондиционеры [CRYSTAL](#) функциональны и просты в управлении, имеют многоуровневую систему очистки воздуха и работают очень тихо.

В моделях [BLACK CRYSTAL](#) и [SILVER CRYSTAL](#) установлен вентилятор с пятью скоростями. Фильтры Ultra High Density, Silver Ion и фотокаталитический позволяют эффективно очищать воздух не только от крупных частиц пыли, но и от вирусов и бактерий. Широкий набор функций даёт возможность максимально удобно настраивать комфортные параметры микроклимата.

Модели [CHAMPAGNE CRYSTAL](#) и [RED CRYSTAL](#) оснащены вентилятором с семью скоростями, противопылевым фильтром с улучшенной очищающей способностью Ultra High Density, антибактериальным фильтром с ионами серебра Silver Ion и фотокаталитическим фильтром от запахов, вирусов, бактерий и спор грибов.

Кондиционеры [CHAMPAGNE CRYSTAL](#) и [RED CRYSTAL](#) работают на обогрев при температуре наружного воздуха до -20°C и максимально экономичны в энергопотреблении благодаря классу энергоэффективности A++.

Все кондиционеры серии [CRYSTAL](#) подготовлены для опционального подключения модуля Wi-Fi. При покупке и установке специального модуля микроклиматом в доме можно управлять дистанционно из любой точки мира через мобильное приложение. ●

«[БРИЗ — Климатические системы](#)» — эксклюзивный дистрибьютор на территории России и стран Таможенного союза (ЕАЭС) климатического оборудования [ROYAL Clima](#), климатического оборудования [FUNAI](#), систем кондиционирования и очистителей воздуха [HISENSE](#) и водонагревателей [PHILIPS](#).





САНТЕХНИКА И ВОДОСНАБЖЕНИЕ

Испытания трубопроводной арматуры — прошлое и настоящее

После большевистской революции 1917 года вся частная собственность, предприятия и инфраструктура в Российской империи были национализированы и перешли под контроль властей нового государства — РСФСР. Ещё много лет большевики пользовались дореволюционным наследием: станками, машинами, котельными, паро- и водопроводными системами, отопительным и сантехническим оборудованием.

Автор: [Анар ГАСИМОВ](#), обозреватель компании [Profactor Armaturen GmbH](#)

Наследие, которое описано во вступлении к статье, оказалось прочным и надёжным, поэтому добросовестно служило новым хозяевам, которым не хватало времени, знаний и опыта для обслуживания присвоенной техники. Трубопроводная арматура выпускалась в Российской империи большей частью по немецким стандартам, поэтому она не уступала по качеству и характеристикам европейским аналогам.

В трёхтомном немецком справочнике Hütte для инженеров, архитекторов, механиков и студентов, изданном московской

типографией «Товарищество Скоропечатни А. А. Левенсон» в 1916–1917 годы, подробно описываются строгие требования и рекомендации для отечественных производителей железных паропроводных, ресиверных (для паровых турбин) и водопроводных труб.

Большое внимание в книге уделяется разным видам испытаний, через которые проходила готовая продукция, прежде чем попасть к заказчику.



⌘ Экземпляр «Справочника Hütte», изданный в Российской империи в 1916–1917 годах и хранящийся в архиве компании [Profactor Armaturen GmbH](#)



⌘ Экспозиция с водопроводными кранами из бронзы (конец XIX — начало XX века) в «Музее Воды» в Москве

Посредством справочника Hütte немецкие учёные и инженеры прививали российским изготовителям трубопроводной арматуры важные правила производственной и технологической культуры, следуя которым можно было добиться высокого качества продукции, гарантировать её надёжность и длительный срок эксплуатации. На рубеже XIX–XX веков немецкие стандарты промышленного производства укоренились в царской России, и многие отечественные предприятия им следовали.



⌘ Бывшее здание «Товарищества скоропечатни А. А. Левенсон». Фото 1960-х годов

Фото: Архитектурное наследие России. Фёдор Шехтель. — М.: ИД Руденцовых, 2011. 512 с.

Проверка до выхода с завода

Каким же испытаниям подвергалась трубопроводная арматура на предприятиях в дореволюционные времена? Как отбирались изделия на проверку из готовых партий товара? И какие требования и рекомендации инженеров приводятся в немецком справочнике?

В начале XX века, прежде чем покинуть завод-изготовитель, железные паропроводные, ресиверные и водопроводные трубы проходили несколько видов серьёзных испытаний, в их числе — гидравлическое воздействие и сплющивание.

Причём для гидравлических испытаний бралось не менее 25% из партии прямых труб, если же партия состояла полностью из выгнутых труб, то проверялось 100% готовой продукции. Эти сведения приводятся в справочнике Hütte от 1916 года (Том I, 5 Отдел. «Материалы». «II Металлы». «Железо». «IV Железные трубы», стр. 758). На той же странице отмечено, что для прохождения гидравлической пробы трубы разделялись на партии по 200 штук, откуда на испытания выбирались наугад несколько изделий. В случае обнаружения хотя бы одной неудовлетворительной трубы испытание данной партии останавливалось, все трубы браковались и возвращались на завод для новой опрессовки.

«Паропроводные трубы испытываются под давлением, равным двойному давлению пара в котле, ресиверные — под давлением 12 атм, паропроводные — под давлением 3 атм. Все трубы водотрубных котлов и воздухопроводов (и их соединительные части) испытываются под давлением 20 атм» (Hütte от 1916 года, Том I, стр. 758). Там же:

«Водопроводные трубы

- диаметром до 80 мм (включительно) подвергаются давлению в 40 атм;
- диаметром от 80 до 155 мм (включительно) подвергаются давлению в 35 атм;
- диаметром от 155 до 310 мм (включительно) подвергаются давлению в 30 атм;
- диаметром свыше 310 мм — пробное давление устанавливается в зависимости от диаметра и толщины стенок труб, но во всяком случае оно не может быть менее 20 атм.

Испытание продолжается в течение пяти минут, причём испытываемая труба и фасонные части подвергаются лёгким ударам молотка весом около двух фунтов. Трубы и фасонные части должны выдерживать пробное давление без признаков течи и выступления капель».

Вслед за гидравлическими воздействиями железные паропроводные, ресиверные и водопроводные трубы должны были пройти испытания «на сплющивание», которые проводились в специальной лаборатории при заводе. Вот как этот процесс описывается



❖ Фрагмент стр. 756 первого тома немецкого справочника Hütte (1916 год)

в первом томе немецкого справочника Hütte (от 1916 года) на стр. 760:

«Берётся одна из каждых двадцати или менее труб, и из неё отрезаются две части высотой от 50 до 100 мм. Одна из отрезанных частей подвергается сплющиванию вплотную в холодном состоянии таким образом, чтобы место сварки (в случае сварной трубы) не приходилось на сгиб. Другая часть (образца) подвергается такому же сплющиванию в горячем состоянии. При сих испытаниях на выпуклой стороне сгиба не должно получаться ни трещин, ни надрывов».

В случае возникновения на испытываемых образцах трещин или надрывов вся партия браковалась и отправлялась на переработку.

Особое внимание в первом томе дореволюционного справочника уделено испытаниям водопроводных труб. Так, в §11 на стр. 760 приводятся конкретные рекомендации:

«Водопроводные трубы подвергаются вслед за гидравлическим испытанием испытанию на сплющивание: берётся одна из 50-ти или менее труб, из неё отрезается часть длиной, равной диаметру трубы, и подвергается в холодном состоянии сплющиванию до 1/3 наружного диаметра для труб с диаметром до 300 мм (включительно) и до 1/2 наружного диаметра для труб с диаметром свыше 300 мм».

В первом томе справочника Hütte в §12 на стр. 760 отмечено, что если во время хотя бы одного испытания более половины из отобранных образцов готовых изделий покажут неудовлетворительный результат, то вся партия труб должна быть забракована. Если же неудовлетворительными окажутся менее половины образцов, то нужно отобрать новые образцы для повторных переиспытаний:

«При переиспытании берутся ещё две новые трубы и подвергаются тем родам испытаний, которые они (их предшественницы) первоначально не выдержали. Если и при переиспытании какой-либо партии получится хотя бы один неудовлетворительный результат, то вся соответствующая партия бракуется».

Испытания временем

Спустя 100 лет серьёзных изменений в технике испытаний труб и фитингов в России не произошло, они по-прежнему подвергаются разным видам технического воздействия, чтобы производитель смог выявить брак и убедиться в качестве и надёжности готовой продукции. Предписания и нормативы, изложенные в дореволюционном справочнике Hütte, при советской власти преобразовались в ГОСТы, меняющиеся в зависимости от назначения и предстоящих условий работы труб и трубопроводной арматуры. Некоторые из этих ГОСТов пережили СССР и сохранились до наших дней, другие были обновлены или вновь разработаны. В числе основных испытаний металлических труб до сих пор остаются: «на раздачу», «на бортование», «на загиб» (изгиб), «на сплющивание», воздействием гидростатического давления и гидравлические испытания арматуры трубопроводов.

Что касается испытаний металлических труб, то в XIX–XX веках они были более востребованы и распространены, часть из них перешла в XXI век, но многие рискуют остаться в прошлом, так как всё чаще трубы из металла уступают место более современной продукции из пластиковых компонентов. Приведём лишь несколько видов испытаний металлических труб, чьё время уже истекло или истечёт в скором будущем.

Испытания «на раздачу»

Испытания «на раздачу» распространяются на металлические бесшовные и сварные трубы круглого сечения, диаметром не более 150 мм и толщиной стенки не более 9,0 мм. Процедура испытания регламентируется ГОСТ 8694-75 и его разновидностью (ГОСТ 11706-78). Для данного испытания применяются образцы в виде патрубка, отрезанного от конца трубы, длиной не менее 50 мм. Допускается применять и более короткие образцы — при условии, что цилиндрический участок, оставшийся после «раздачи», будет больше, чем 0,5 наружного диаметра трубы.

Испытание заключается в «раздаче» (расширении) образца путём вдавливания в него конической оправки с углом конусности 30°, 45°, 60°, 90° и 120°. В ходе операции не допускается вращения оправки или образца. Скорость внедрения оправки в образец должна составлять от 20 до 50 мм/мин.

С доведением испытания до разрыва патрубка можно определить предельное удлинение поверхностных волокон металла в момент разрыва образца и определить величину предельной пластичности металла, то есть его способность выдерживать пластическую деформацию без разрушения.

Процедура испытания «на бортование»

Процедура испытания «на бортование» регламентируется действующим советским стандартом [ГОСТ 8693-80 \(ИСО 8494-86\)](#), введённым 1 июля 1980 года. Данному испытанию подвергаются металлические бесшовные сварные трубы с наружным диаметром до 160 мм включительно с толщиной стенки не более 9 мм.



•• **Схемы технологических испытаний труб**

Испытание «на бортование» состоит в отбортовке конца (отрезка трубы) до образования фланца заданного диаметра или до получения величины отбортовки заданной длины. Испытание проводят плавной отбортовкой на угол 90° . Перед отбортовкой образец может подвергаться «раздаче» конусной оправкой до образования наружного диаметра, обеспечивающего получение заданного или определяемого диаметра борта с последующим отгибом края образца плоской поверхностью.

Метод испытания «на изгиб»

Метод испытания «на изгиб» по новому [ГОСТ 14019-2003](#) (принят взамен [ГОСТ 14019-80](#)) заключается в пластической деформации образца круглого, квадратного, прямоугольного или многоугольного сечения путём изгиба без изменения направления действия силы до достижения заданного угла изгиба. Оси двух опор при изгибе образца должны оставаться в плоскости, перпендикулярной к направлению действия силы. При изгибе на 180° две боковые поверхности могут, в зависимости от требований стандарта на металлопродукцию, соприкасаться друг с другом или быть параллельными, находясь одна от другой на заданном расстоянии. Для контроля этого расстояния применяют прокладку.



Результаты испытания «на изгиб» оценивают в соответствии с нормативными документами на металлопродукцию. Если их нет, то отсутствие трещин, видимых невооружённым глазом, служит доказательством того, что образец выдержал испытание «на изгиб».

Процедура испытания «на сплющивание»

Эта процедура регламентируется стандартом [ГОСТ 8695-75](#), введённым в действие 1 июля 1977 года. Он распространяется на металлические бесшовные и сварные трубы с наружным диаметром не более 400 мм и толщиной стенки не более 15% от наружного диаметра трубы. Для процедуры применяют образцы в виде отрезка трубы длиной 20–50 мм. Образец помещают между двумя гладкими и жёсткими параллельными плоскостями и плавно сплющивают его, сближая сжимающие плоскости до заданного расстояния. Сварной шов при испытаниях располагается примерно под углом 90° к оси приложения нагрузки. Скорость сплющивания образца — не более 25 мм/мин.

Признаком того, что образец выдержал испытание «на сплющивание», служит отсутствие на внешней и внутренней поверхностях изделия трещин или надрывов с металлическим блеском, определяемых визуально.

Метод испытания внутренним гидростатическим давлением

Этот метод регламентируется стандартом [ГОСТ 3845-2017](#), введённым в действие с 1 сентября 2017 года взамен советского [ГОСТ 3845-75](#). Настоящий стандарт устанавливает метод испытаний металлических бесшовных, сварных, свёртных паяных труб, включая биметаллические трубы, и труб из стали, чугуна, сплавов и цветных металлов внутренним гидростатическим давлением для подтверждения их способности выдерживать испытательное давление. Метод испытаний заключается в воздействии на трубу неподвижной испытательной средой, находящейся под давлением.

При проведении испытаний применяют:

- специальное оборудование, предназначенное для испытаний труб внутренним гидростатическим давлением;
- манометр или другие средства измерения испытательного давления;
- секундомер или другие средства измерения времени выдержки труб при испытательном давлении;
- испытательную среду — воду, эмульсию или другую жидкую среду.

Результаты испытаний трубы считают удовлетворительными, если во время процедуры на образце не наблюдалось утечки испытательной среды через стенку трубы, муфты, сварной шов или резьбовое соединение трубы с муфтой, а также не произошло отклонения формы трубы или муфты. Иначе образец признаётся не прошедшим испытание, или для подтверждения результатов трубу могут подвергнуть повторному испытанию.

Неустаревающее испытание

Одним из важнейших испытаний трубопроводной и запорной арматуры была и остаётся гидравлическая проверка на прочность и герметичность, подробно описанная в первом томе справочника Hütte от 1916 года.

На рубеже XIX–XX веков немецкие производители обратили внимание, что в процессе изготовления металлических труб и фасонных частей порой возникают скрытые дефекты. Погрешности могут появиться в составе сплава или в ходе обработки и сборки изделия, что негативно отражается на качестве товара, снижает его прочность и ухудшает эксплуатационные характеристики. Выявить скрытые дефекты «на глаз» даже при тщательном визуальном осмотре порой невозможно, поэтому европейские производители начали использовать более действенный и эффективный метод для обнаружения брака — гидравлическое испытание. С его помощью все огрехи изделия выходят наружу и позволяют производителям от них избавиться. Этот метод проверки остаётся актуальным и востребованным и в наше время.

На портале «Мир трубопроводной арматуры — новости, интересные факты, технические характеристики» подробно описано, как проходит и на какие этапы делится гидравлическое испытание в современных условиях.

1. Первый этап: «Гидравлическое испытание изделия на прочность, непроницаемость металла, неподвижных разъёмных соединений и сальника». Детали арматуры, изготовляемые отливкой, могут иметь дефекты — песчаные и газовые раковины, пористость металла, трещины, «разностенность» (из-за смещения стержня в литевой форме), остаточные внутренние напряжения. В сварных соединениях возможны непровар, трещины, пористость, смещение стенок, растрескивание околшовной зоны. Для того чтобы гарантировать прочность детали и непроницаемость металла, проводят испытание на прочность.



Испытание проводят при пробном давлении, которое в 1,25–2 раза превышает условное давление. Испытание проводится водой при нормальной температуре, а наличие или отсутствие протечек выявляется внешним осмотром испытуемого изделия, по падению давления в замкнутом объёме или соответствующими приборами.

Давление обычно создаётся при помощи насосов. Продолжительность испытания устанавливается соответствующей технической документацией. Время выдержки изделия под пробным давлением должно быть достаточным для осмотра и установления годности изделия. Пропуск воды и «потение» через металл и сварные швы не допускается.

Испытанию должны подвергаться все полости арматуры, заполняемые рабочей средой. Поэтому арматура испытывается при открытом положении запорного органа, но с заглушёнными проходными отверстиями. Литые детали при испытании на прочность должны простукиваться свинцовым или медным молотком массой 1 кг с целью лучше выявить протечки.

2. Второй этап: «Испытание запорного органа изделия на герметичность». Испытание проводится для проверки качества притирки уплотнительных поверхностей деталей запорного органа арматуры. Одновременно контролируется качество сборки разъёмных соединений сальникового, сифонного, мембранного узлов.

Гидравлическое испытание на герметичность выполняется после гидравлического испытания на прочность. В связи с этим разработана классификация арматуры по классам герметичности с соответствующими нормами допустимых протечек, предусмотренных [ГОСТ 9544–75](#) советских времён, который ныне заменён на [ГОСТ 9544–93 «Арматура трубопроводная запорная. Нормы герметичности затворов»](#) (дата введения — 1 января 1995 года).

Класс герметичности устанавливается в зависимости от назначения арматуры: **1-й класс** — арматура для взрывоопасных и токсичных сред; **2-й класс** — арматура для пожароопасных сред; **3-й класс** — арматура для прочих сред.

Для арматуры 1-го и 2-го классов герметичности предусмотрены нормы при испытаниях воздухом или водой, для арматуры 3-го класса герметичности — только водой.

Испытание запорной арматуры на герметичность проводят исключительно на специализированном стенде. Арматуру устанавливают на стенд, заполняют рабочей средой



и выдерживают установленный промежуток времени (не менее одной минуты). Применяют следующие методы испытаний:

1. Гидростатический — с помощью жидких сред. Результат оценивают по наличию или отсутствию протечек и «потения». В жидкость можно добавить люминесцентные составы, которые визуально заметны в свете ультрафиолетовой лампы.

2. Манометрический — с применением жидких и газообразных сред. Оценку производят посредством измерения давления в системе. Если показатели снизились, арматура не соответствует стандарту.

3. Пузырьковый — данный метод используют для обнаружения возможных дефектов. Внутри изделия подают газ под давлением (воздух, азот, аргон, возможно применение других сред), погружают его в ванну и регистрируют появление пузырьков. Другой способ — покрыть корпус изделия пенообразующим составом. При утечке воздуха дефект станет визуально заметен.

4. Масс-спектрометрический — применяют гелиевый течеискатель. Исходя из условий эксплуатации изделия проводят дополнительные испытания на прочность запорной арматуры (на холодо- и огнестойкость, воздействие морского тумана и др.). К механическим испытаниям относят тесты на устойчивость к вибрациям и ударным нагрузкам.

Гидравлические испытания трубопроводной арматуры, включая профессиональную инженерную сантехнику [Profactor](#), являются обязательными для прохождения как на самом производстве, так и в специальных лабораториях, испытательных центрах в странах, куда поставляется импортный товар.

Так, например, сантехника немецкой компании [Profactor Armaturen GmbH](#) неоднократно проходила проверку в Аналитическом сертификационном испытательном центре (АСИЦ) при [ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Фёдоровского» \(ФГБУ «ВИМС»\)](#), где получают официальные протоколы испытаний продукции начиная с 2011 года.

Послесловие

Аналитики и инженеры [Profactor Armaturen GmbH](#) часто обращаются к дореволюционному трёхтомному справочнику и находят в нём уникальные сведения об истории и процессе развития систем отопления, газо-, паро- и водопроводной арматуры. Избранные находки адаптируются, и на их основе готовятся обзорные материалы с уникальными иллюстрациями из самого справочника [Hütte 1916–1917](#) годов.

Четвёртый обзор из этой серии, как видите, завершён, но путешествия в прошлое на «машине времени [Hütte](#)» вскоре продолжатся. ●



Модернизация одного из лучших компакт-унитазов Европы для обеспе- чения его пол- ного соответствия требованиям ГОСТ*

В большинстве случаев эксплуатационные показатели европейских, в том числе и российских, унитазов находятся на невысоком уровне и сильно раздражают потребителей, у которых практически нет выбора при покупке хорошего унитаза. Состоятельный покупатель может приобрести хороший зарубежный унитаз. Но анализ их характеристик не всегда подтверждает рекламные обещания...

Автор: [Ю.И. ЧУПРАКОВ](#), к.т.н.

* В данном случае подразумевается [ГОСТ 13449–2017 \[1\]](#).

Вступление

В этой статье на основании экспериментальных данных приводятся достоинства и недостатки двух лучших (по мнению взыскательного автора) унитазов Европы. Показаны пути их совершенствования с целью обеспечения требований российских ГОСТов. Эти пути распространяются и на отечественные унитазы.

О ГОСТах

Сразу следует отметить, что в настоящее время российские ГОСТы с точки зрения формулировки требований к функциональным свойствам унитазов в большей степени отвечают современным требованиям потребителей, чем европейские стандарты. Это объясняется тем, что отечественные ГОСТы чаще обновляются и поэтому активнее совершенствуются. Однако их соблюдение не является у нас обязательным для производителей унитазов, так как существует «лазейка», позволяющая этим предприятиям вместо ГОСТов пользоваться «техническими условиями», которые они же и составляют. Отсюда и сравнительно низкие показатели функциональных свойств российских унитазов, наиболее важными из которых являются: качество смыва, ополаскивания, показатели уровня шума и другие, по сравнению с лучшими европейскими компакт-унитазами.

Кроме того, почти все унитазы, выпускаемые в России, изготавливаются заводами, принадлежащими иностранным владельцам, которые весьма неохотно выполняют требования российских ГОСТов. Поэтому ни один унитаз, выпускаемый в РФ, также полностью не соответствует требованиям российского [ГОСТ 13449–2017 \[1\]](#). Однако отечественные торговые предприятия «забиты» этой продукцией недостаточного качества, и у россиян нет выбора при приобретении унитаза. Роспотребнадзору следует обратить внимание на такое положение дел и запретить поставки продукции с неудовлетворительными техническими показателями на российский рынок.

Для унитазов, рассчитанных на массового потребителя, под словами «лучший компакт-унитаз» в дальнейшем будем понимать хорошее соотношение цены и качества (основных эксплуатационных показателей). Последние регламентируются [ГОСТ 13449–2017 «Изделия санитарные керамические. Методы испытаний» \[1\]](#). Цены на унитазы находятся в достаточно широких пределах от 3000 руб. до 50 тыс. руб. и более. Стоимость «навороченных» унитазов, например, японских, может достигать миллиона рублей за счёт включения в их конструкцию дополнительных функций, например, музыкального сопровождения или подогрева сиденья, или автоматического включения спуска и других функций, вплоть до автоматического получения анализов результатов опорожнения и возможности управлять унитазом дистанционно. Правда, у японских унитазов появилась ещё и тенденция их перевода на повышенное давление воды, подаваемой в их чаши.



Практический опыт автора показывает, что прямой зависимости между ценами компакт-унитазов и качеством их эксплуатационных показателей нет и быть не может. Качество спуска унитаза зависит от геометрии его чаши, бачка, от стоимости керамосырья, а также от характеристик спускной арматуры и некоторых других факторов.

Что касается чаш унитазов, то их геометрия зависит от завода-изготовителя. Например, в скандинавских странах заводы делают преимущественно унитазы с воронкообразными чашами, а в Беларуси — с чашеобразными с вертикальным отводом в задней части чаши. Поэтому по

каскадный тип подачи воды в чашу из-под обода унитаза. Выбор был сделан с учётом его сравнительно невысокой стоимости (около 7000 руб.) при отличных показателях внешнего вида. Кроме того, автор надеялся, исходя из некоторого опыта, что «скандинавские» унитазы вообще более или менее удовлетворительно смывают в канализацию содержимое чаши, тем более что чаша у них выполнена воронкообразной.

Итак, функциональные свойства унитазов в России определяются на основании недавно разработанного [ГОСТ 13449-2017 «Изделия санитарные керамические. Методы испытаний»](#) [1].



качеству смыва «скандинавские» унитазы значительно лучше, чем «белорусские», но цена последних бывает даже выше «скандинавских» по неизвестным причинам.

Если покупателю захочется купить новый компакт-унитаз вместо старого, то никто не даст ему гарантии, что новый унитаз окажется лучше старого, изготовленного на том же заводе-изготовителе. Это в большинстве случаев подтверждается практикой. Самое неприятное, если недостатки будут выявлены после того, как новый унитаз, после долгих мучений с покупкой и установкой, окажется совсем не таким, как его рекламировали изготовители и продавцы. Следует особо отметить, что реклама не всегда бывает прозрачной и честной. Часто бывает, что упор в ней делается на какое-то вроде бы оригинальное конструктивное решение. На практике же оно только ухудшает какой-либо показатель.

Не в полной мере устраивают российского покупателя даже самые лучшие европейские унитазы. Автор с целью детального тестирования взял изготовленный в Дании компакт-унитаз, имеющий

В этом ГОСТе изложены методики определения основных параметров, в том числе следующих:

1. Определение величины среднего расхода воды на смыв.
2. Проверка унитаза на качество смыва.
3. Проверка унитаза на качество ополаскивания внутренней поверхности чаши.
4. Проверка унитаза на гигиеничность.
5. Проверка унитаза на наличие функции «антивсплеск».
6. Определение высоты гидрозатвора в унитазе.

Если покупателю захочется купить новый компакт-унитаз вместо старого, то никто не даст ему гарантии, что новый унитаз окажется лучше старого, изготовленного на том же заводе-изготовителе. Это в большинстве случаев подтверждается практикой. Следует особо отметить, что реклама не всегда бывает прозрачной и честной

Кроме того, автор считает необходимым также определять и степень обновления воды в отводном канале после спуска, который он обозначил бы в приведённом выше списке под номером 7. Этот параметр, к сожалению, в состав [ГОСТ 13449-2017](#) не вошёл, но с точки зрения биологической опасности он является таким же важным, как и качество смыва. Этот параметр (полное обновление воды в отводном канале) особенно важен при «малом» спуске. Однако он абсолютно не учитывается создателями унитазов. Автор настоящей статьи уже давно занимается данной проблемой (обновления воды в отводном канале унитаза), поэтому при простейшем испытании унитаза, созданного в Дании, он экспериментально установил, что этот унитаз не обеспечивает полного обновления воды в отводном канале даже после «полного» спуска. Причин здесь много, но ограниченный объём статьи не позволяет изложить их полностью.

Определение степени обновления воды в отводном канале автор производил разными способами: путём использования в качестве индикатора жидкой синьки, а также спитого мелкодисперсного чая. Последний способ оказался более эффективным. Правда, позже владелец компакт-унитаза выпуска 15-летней давности В. И. Матюшин рассказал, что он каждый раз сливает в унитаз остатки кофе, и даже после нажатия на кнопку «малого» спуска вода в канале отвода остаётся очень чистой, без видимых остатков кофе. Эксперимент по определению степени обновления воды в отводной трубе унитаза производился следующим образом. Во входной участок отводного канала наливалось несколько кубических сантиметров жидкой синьки или помещалась одна столовая ложка «с верхом» спитого мелкодисперсного чая. После этого производился «полный» спуск воды, а затем визуально определялась степень обновления воды во входном участке отводного канала. Наличие синего цвета в видимой части воды или чайнок свидетельствует о низкой степени обновления воды в отводе. Это и есть пока незаконченный п. 7 основных требований, предъявляемых к современным унитазам.

Другое требование, которое не выполняется компакт-унитазом из Дании, является требование п. 10.3 [ГОСТ 13449-2017](#), относящееся к качеству смыва. При любых значениях среднего расхода на смыв искусственные фекалии (шары диаметром 30 мм и плотностью 0,6 г/см³) не удаляются из чаши и после завершения даже «полного» спуска не транспортируются в канализационную сеть.



Этот недостаток на практике встречается в большинстве европейских, в том числе и российских, компакт-унитазов. Объяснить это можно тем, что вода, вытекающая из-под обода, из-за эффекта Коанда прилипает к внутренним стенкам чаши и сравнительно тонким слоем стекает к периметру входа отводного канала. Её толщина в месте входа в отводной канал несколько увеличивается, а далее на начальном участке входа поток начинает вытеснять верхнюю часть воды в отводе вверх, обратно в чашу. Поэтому искусственная фекалия, помещённая на зеркало входа в отвод, не затягивается в канализационную сеть, а остаётся на поверхности воды на входе в отвод после завершения спуска. Это частично объясняет и первостепенную причину неполной замены воды в отводном канале после завершения спуска воды. Так же ведут себя естественные фекалии и другие фракции с относительно низкой плотностью.

Этот эффект усугубляется ещё и тем, что сечение отводного канала специально занижено для того, чтобы в момент спуска уровень воды на входном участке отвода повысился, что приводит к некоторому улучшению условий вытекания воды из чаши и её содержимого за счёт повышения уровня воды в дне чаши. Этого повышения уровня, с учётом выталкивания воды в центре зеркала приёмного отверстия отвода, как правило, недостаточно для того, чтобы обеспечить эффективную транспортировку содержимого чаши в канализационную сеть. По этой причине лёгкие фракции содержимого чаши унитаза не удаляются из чаши после первого даже «полного» спуска.

Аналогичным недостатком обладают в том числе унитаза с душевой подачей воды из-под обода унитаза в канализаци-

онную сеть. Такие результаты получены при испытании турецкого компакт-унитаза с душевой подачей воды из-под обода унитаза в чашу. Более широкие испытания на качество смыва провести не удалось из-за невозможности существенно увеличения расхода на смыв до 1,9 л/с. Последнее объясняется тем, что это можно выполнить только увеличив диаметр отверстий под ободом унитаза. Однако из-за сравнительно высокой твёрдости фарфора в кустарных условиях этого сделать невозможно.

В процессе испытаний компакт-унитаза, изготовленного в Дании, выявился ещё один недостаток. Выяснилось, что на «полный» спуск тратится 8 л воды — так была настроена наполнительная арматура на заводе-изготовителе. При этом в канализацию при «полном» спуске спускались фекалии плотностью 7,5 г/см³ и более. Но фекалии плотностью 0,6 г/см³ после «полного» спуска оставались в чаше унитаза.



После настройки унитаза на «полный» шестилитровый спуск стало возможным удалять из чаши при «полном» спуске только искусственные фекалии плотностью не менее 8 г/см³.

Смывной бачок компакт-унитаза датского производства высотой 330 мм без крышки можно без ущерба перелива воды через борт заполнить до 11 л. Стенки останутся сухими ещё на 50 мм выше уровня заполнения бачка до 11 л. Такое заполнение, если обеспечить прекращение процесса спуска воды на уровне 5 л, позволяет увеличить шестилитровый средний расход воды более чем в 1,5 раза. Как показал эксперимент, при среднем расходе на смыв, близком к 2,5 л/с, обеспечивается смыв искусственных фекалий плотностью не менее 7,0 г/см³.

Для самых лучших, специально отобранных автором унитазов европейского производства повторяется привычная нашим гражданам картина: при любых значениях среднего расхода на смыв искусственные фекалии не всегда удаляются из чаши и после завершения даже полного спуска не транспортируются в канализационную сеть

Для получения эффекта увеличения среднего расхода на смыв унитаза производства Дании был изготовлен макет спускной арматуры, который обеспечивал бы полуавтоматический спуск из смывного бачка воды от уровня наполнения, равного 270 мм, до уровня, равного 120 мм. Это соответствовало «полному» шестилитровому спуску воды.

Такая спускная арматура, конечно, не удаляла из чаши унитаза искусственные фекалии плотностью 0,6 г/см³, но зато обеспечивала качественное ополаскивание чаши благодаря более высокой скорости течения воды по её поверхности.

У этой новой спускной арматуры возникла неожиданная проблема. Для «полного» спуска 6 л воды необходимо одновременно нажать на кнопку пуска. Тогда спускная арматура автоматически закроется при опускании уровня воды до 120 мм. Если же удерживать кнопку, например, три-четыре секунды, то вода из бачка сольётся до его дна. После этого снова начнётся заполнение бачка. Однако на заполнение бачка уже понадобится не 6 л, а больше — 11 л.

Чтобы не допустить непроизводительного расхода воды, под опорную шайбу спускной арматуры был установлен тонкостенный стакан из полипропилена диаметром 130 мм с отверстием в его дне (Ø60 мм) и с необходимыми уплотнениями в донной части смывного бачка.

Обнаружен ещё один недостаток тестируемого унитаза датского производства. Его средний расход на смыв 7,5 л воды составляет всего 1,4 л/с. Пункт 10.2 [ГОСТ 13449-2017](#) гласит, что он должен быть не менее 1,9 л/с.

Остальные упомянутые выше основные показатели 3, 4, 5 и 6 удовлетворяют требованиям [ГОСТ 13449-2017](#), а показатели 1, 2 и 7 — не удовлетворяют.

Таким образом, протестированный компакт-унитаз производства Дании не соответствует полностью всем требованиям российского [ГОСТ 13449-2017](#).

Осуществить улучшение неудовлетворительных эксплуатационных показателей простыми методами можно только в результате изготовления нового унитаза в заводских условиях, чего автор на-



стоящей статье сделать, естественно, не может. В связи с этим пришлось искать другой унитаз, изготовленный в Европе, но тоже один из лучших.

Таким оказался компакт-унитаз, произведённый в Швеции. Судя по якорю, изображённому на кнопке пуска, это продукция известной фирмы, выпущенная в 2000-е годы. Судя по отзывам его владельца, характеристики этого унитаза приближаются к требованиям современного российского [ГОСТ 13449-2017](#). При этом учитывалось также наблюдение упомянутого выше владельца данного унитаза В. И. Матюшина о хорошем качестве обновления воды в гидрозатворе.

Основным преимуществом компакт-унитазов данного бренда перед аналогичными компакт-унитазами является возможность принудительного «пропихивания» воды в отводном канале вместе с содержимым чаши в канализационную сеть за счёт формирования сравнительно мощного потока, вытекающего из передней части обода и направленного почти прямо на зеркало приёмного отверстия отвода. Поскольку обратного потока из отвода почти нет, то и вода в отводном канале почти полностью обновляется.

Формирование такого потока в унитазах рассматриваемого бренда осуществляется за счёт выполнения геометрии обода в передней его части специальным образом. В результате этого появляется принципиальная возможность отправлять в канализационную сеть содержимое чаши почти любой плотности, чего невозможно сделать практически ни в одном унитазе европейского типа, и приблизить унитаз по результативности и по качеству смыва к американским «сифонирующим» унитадам. Кроме того, одновременно и просто решается проблема обновления воды в отводном канале.



Как показали дальнейшие исследования компакт-унитазов с подачей воды в чашу из-под обода с открытым кольцом (посредством каскадного водопада), не всегда удаётся обеспечить нужную компактность и направление основному потоку, который может несколько отклониться от точного попадания в зеркало приёмного отверстия отвода. Тогда вода в чаше перед входом в отвод начинает закручиваться, и эффект её «пропихивания» вместе с содержимым в канализационную сеть может существенно уменьшиться или исчезнуть.

Следует также отметить, что потоки воды в бортах чаши унитаза в момент спуска встречаются в средней части борта унитаза и дальше устремляются вниз через зазор открытого кольца к входному отверстию отвода. При встрече потоки теряют энергию, смешиваются между собой, дробятся на крупные и мелкие брызги, а иногда даже закручиваются.

Поэтому интенсивность результирующего потока существенно снижается, что уменьшает ожидаемую эффективность основного потока, который не может со всей исходной мощностью совершить «пропихивание» содержимого унитаза в канализацию. С этой точки зрения целесообразнее использовать душевую систему подачи воды из-под обода в чашу, которая также приведёт к уменьшению уровня шума спускаемой воды.

Испытание на спуск показало, что величина среднего расхода на смыв 6,5 л воды составила 1,8 л/с. Поэтому визуально процесс спуска выглядит недостаточно интенсивным, а искусственные фекалии плотностью 0,6 г/см³ не транспортируются водой в канализационную сеть. Опыт с чайниками показал, что при «полном» спуске (с шестилитровым объёмом воды)



происходит полное обновление воды в отводном канале. При «малом» спуске (с трёхлитровым объёмом) воды её полного обновления не происходит. Несколько чайнок в видимой части отводного канала всё-таки остаются.

Выяснилось также, что пластмассовая крышка плотно ложится на бачок, а доступ воздуха из окружающей среды

Как показали дальнейшие исследования компакт-унитазов с подачей воды в чашу из-под обода с открытым кольцом (посредством каскадного водопада), не всегда удаётся обеспечить нужную компактность и направление основному потоку, который может несколько отклониться от точного попадания в зеркало приёмного отверстия отвода

осуществляется только через щель, образованную прямоугольным отверстием в крышке и контуром прямоугольной кнопки пуска. Размеры отверстия в крышке под кнопку пуска — 44×98 мм, наружные размеры кнопки — 43×95 мм. Площадь зазора между ними, служащего практически сапуном, для прохода воздуха составляет всего 2,2 см². Пункт 5.4 ГОСТ 21485–2016 [2] требует, чтобы площадь сечения сапуна была не менее 5 см².

Для того, чтобы увеличить площадь сечения сапуна, пришлось дорабатывать заднюю часть крышки для сохранения дизайна передней части крышки.

После доработки сапуна, с целью увеличения площади его сечения более чем в три раза, средний расход на смыв стал равным 2,5 л/с. Это привело к тому, что

шар диаметром 30 мм и плотностью 0,6 г/см³ в процессе спуска покидал чашу унитаза и отправлялся в канализацию. Кроме того, при «малом» трёхлитровом спуске происходит, также как и при «полном» шестилитровом, почти полное обновление воды в отводной трубе. Однако две чайники всё-таки в отводе остаются.

Для ещё большего увеличения эффективности спуска была произведена ещё и доработка спускного клапана. Она свелась к тому, что на переливную конусообразную трубу была напрессована ещё одна цилиндрическая пластмассовая труба с наружным диаметром 40 мм. На эту цилиндрическую трубу по плотной посадке насаживался круглый пенопластовый поплавок с центральным отверстием, который вручную можно было бы перемещать вдоль оси переливной трубы на разную высоту, обеспечивающую на нужной высоте момент закрытия запорного клапана спускной арматуры.



Чтобы увеличить высоту начального уровня воды в смывном бачке перед началом спуска, пришлось наращивать верхнюю часть переливной трубы и утончать в вертикальном направлении горизонтальную часть рычага спускового механизма. Однако, из-за ограниченной высоты смывного бачка в 350 мм (в настоящее время уже массово выпускаются компакт-унитазы с высотой бачка до 450 мм) и сравнительно большой высоты спускового механизма, поднять уровень воды в бачке удалось только до 265 мм. Но и это в конкретном унитазе оказалось удачей, так как удалось удовлетворить требование п. 10.3 [ГОСТ 13449–2017](#) об удалении после «полного» спуска из чаши унитаза в канализационную сеть искусственных фекалий плотностью 0,6 г/см³. На такое в данный момент не способен ни один европейский унитаз, рассчитанный на европейскую же систему разводки

канализации (над перекрытиями зданий). Закрытие клапана, которое обеспечивало бы шестилитровый объём воды при «полном» спуске, происходило при опускании зеркала воды до высоты 90 мм.

Следует отметить, что последняя доработка переливной трубы с поплавком привела к некоторому увеличению среднего расхода на смыв (примерно на 0,1–0,2 л/с). Поскольку из процесса смыва удалась «малоэффективная» нижняя часть воды и среднеинтегральный напор увеличился, то и эффективность смыва возросла. Это привело к тому, что стало происходить полное обновление воды в отводной трубе при «малом» трёхлитровом спуске.

Таким образом, рассматриваемый модернизированный унитаз выпуска 2000-х годов является пока единственным европейским унитазом, эксплуатационные характеристики которого полностью от-

вечают требованиям российского [ГОСТ 13449–2017](#), и на этот макет теперь следует равняться всем европейским изготовителям унитазов.

Учитывая реальную тенденцию увеличения высоты смывных бачков, можно использовать методику автора [3] и изготавливать сравнительно хорошие унитазы для помещений с разводкой канализации над перекрытием. В результате европейские унитазы будут иметь качество смыва, приближенное к качеству смыва американских «сифонирующих» унитазов. При этом следует учитывать, что теперь в лучших по качеству смыва американских унитазах вода в чашу из смывного бачка подаётся под повышенным давлением, равным давлению в водопро-



водной сети. В устройствах, рассмотренных выше, вода из бачка в чашу унитаза подаётся только гравитационным способом. Поэтому характеристики такого устройства будут только сравнительно хорошими. Однако они будут лишь с некоторой натяжкой отвечать требованиям [ГОСТ 13449–2017](#), который уже следует переработать или дополнить.

В статье [4] изложено устройство унитаза, работающего при повышенных давлениях подачи воды в чашу устройства, адаптированного к российским условиям эксплуатации, обеспечивающего все требования потребителей, в том числе и по качеству смыва, и полностью отвечающего требованиям [ГОСТ 13449–2017](#), в том числе по уровню шума. Следует отметить, что американские унитазы с повышенным давлением питания (воды) этим требованиям не отвечают. Уровень их шума в момент спуска напоминает рёв реактивного двигателя. ●



1. [ГОСТ 13449–2017. Изделия санитарные керамические. Методы испытаний / Дата введ.: 01.03.2018. — М.: Стандартинформ, 2019.](#)
2. [ГОСТ 21485–2016. Бачки смывные и арматура к ним. Общие технические условия / Дата введ.: 01.07.2017. — М.: Стандартинформ, 2017.](#)
3. Чупраков Ю.И. Как увеличить расход на смыв европейских компакт-унитазов за счёт изменения конструкции спусковой арматуры // Журнал СОК, 2020. №7. С. 22–25.
4. Чупраков Ю.И. Российский малошумный унитаз с мощным малообъёмным расходом на смыв // Журнал СОК, 2021. №6. С. 16–23.



Удаление бора из воды с использованием обратного осмоса

В статье представлена методика удаления из воды бора с использованием технологии обратноосмотического обессоливания воды. Произведён расчёт двух схем очистки в программе ROSA 9.0. Первая схема предполагает минимальные капитальные вложения в установку водоподготовки. Вторая — характеризуется минимальным количеством образующихся сточных вод.

Бор попадает в воду в результате растворения осадочных горных пород, а также со сточными водами промышленных предприятий. В соответствии с [СанПиН 2.1.4.559-96 \[1\]](#), предельно допустимое содержание бора в питьевой воде должно составлять не более 0,5 мг/л. Для поверхностных полноводных источников данное условие, как правило, выполняется. Но артезианские и грунтовые воды могут иметь значительное превышение по этому показателю.

Удалить бор из воды довольно сложно. Он содержится в воде в виде борной кислоты $[H_3BO_3]$ или $B(OH)_3$, которая практически не диссоциирует в воде. При повышении pH воды бор переходит в форму гидрата бора. При этом, чем выше pH воды, тем больше борная кислота диссоциирует с получением аниона $B(OH)_4^-$.

Обратноосмотические мембраны начинают проявлять селективные свойства по бору, находящемуся в состоянии $B(OH)_4^-$. Анион обладает гидратной оболочкой и значительно увеличивает свои размеры, в отличие от слабо диссоциированной борной кислоты. Поэтому повышение pH воды перед установкой обратного осмоса — необходимое условие для удаления бора при помощи мембранных технологий.

Давайте рассмотрим на примере, как удалить бор из воды с использованием обратного осмоса.

Имеются следующие исходные данные. Расход исходной воды — 16,4 м³/ч, солесодержание (TDS) — 480 мг/л, pH — 8,3, состав исходной воды: аммоний — 0,42 мг/л; калий — 3,17 мг/л; натрий — 113 мг/л; жёсткость — 0,65 мг/л; бикарбонаты (HCO_3) — 299 мг/л; сульфаты (SO_4) — 20 мг/л; хлориды (Cl) — 12 мг/л; бор — 1,72 мг/л.

Для того, чтобы мембрана начала проявлять селективные свойства по бору, необходимо поднять pH воды. Для этого в воду можно дозировать едкий натр (NaOH). Но, если это сделать, то углекислотное равновесие сместится в сторону выпадения карбоната кальция в осадок.

Поэтому, если напрямую в воду дозировать едкий натр перед установкой обратного осмоса, то на мембранах будет происходить интенсивный процесс выпадения карбоната кальция. Мембраны установки обратного осмоса быстро забьются, и потребуются химическая мойка. Необходимо понимать, что в данном случае забьются не только мембраны, но также и арматура, фильтр тонкой очистки непосредственно перед мембранами и т.п. Поэтому единственным надёжным способом избежать проблемы является умягчение исходной воды. При этом умягчение должно быть практически полным, поэтому необходимо организовывать процесс Na-катионитового умягчения воды в две ступени.

После умягчения в воду, практически не содержащую солей жёсткости, дозируется едкий натр. Необходимо поднять pH воды до значения не менее 10,0. Затем воду можно подавать на обратноосмотическое разделение.

На рис. 1 представлена схема очистки воды от бора с использованием технологии обратного осмоса, имеющая наименьшие капитальные затраты.

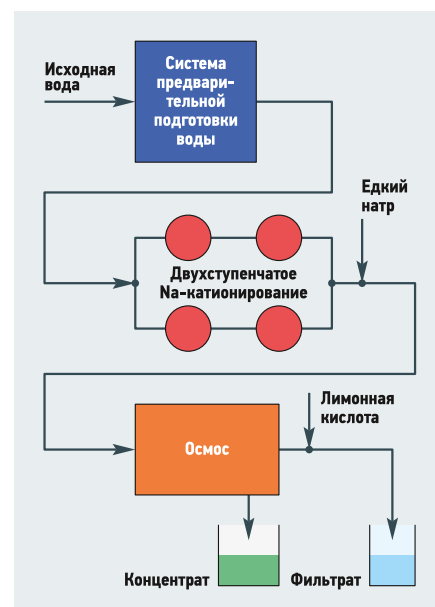


Рис. 1. Схема очистки воды от бора с использованием технологии обратного осмоса

Исходная вода проходит систему предварительного осветления, состав которой подбирается в зависимости от качества исходной воды. Далее вода проходит глубокое Na-катионитовое умягчение в две ступени, и в воду дозируется едкий натр для повышения pH воды до значения 10,0. Потом подготовленная вода поступает на установку обратноосмотического обессоливания. Обессоливание воды происходит в одну ступень. Используются мембраны BW30HR-440i.

В табл. 1 представлен результат расчёта процесса обратноосмотического обессоливания воды с использованием программы ROSA 9.0 для представленных исходных данных.

Как видно из табл. 1, содержание бора в фильтрате составляет 0,19 мг/л — при том, что в исходной воде 1,72 мг/л бора. Солеосодержание фильтрата (TDS) — 12,15 мг/л, значение pH — 9,54. Для уменьшения pH необходимо дозировать в фильтрат лимонную кислоту, что позволит одновременно с уменьшением pH увеличить содержание воды.

Как видно по результатам расчёта, рекавери обратного осмоса составляет 75%. То есть с установки сбрасывается 4,1 м³/ч концентрата. Производительность по фильтрату составляет 12,3, в этом случае индекс Ланжелье (LSI) составляет -0,13. Это говорит о том, что на мембране не будет происходить осадкообразование. Итого соблюдены практически все условия для эффективной эксплуатации установки обратного осмоса.

Теперь рассмотрим ещё одну схему очистки воды от бора, в которой пытаемся достичь минимального расхода сточных вод.

В этом случае основные сточные воды определяются расходом концентрата с установки осмоса. Для того чтобы уменьшить расход концентрата, необходимо увеличить рекавери установки осмоса.

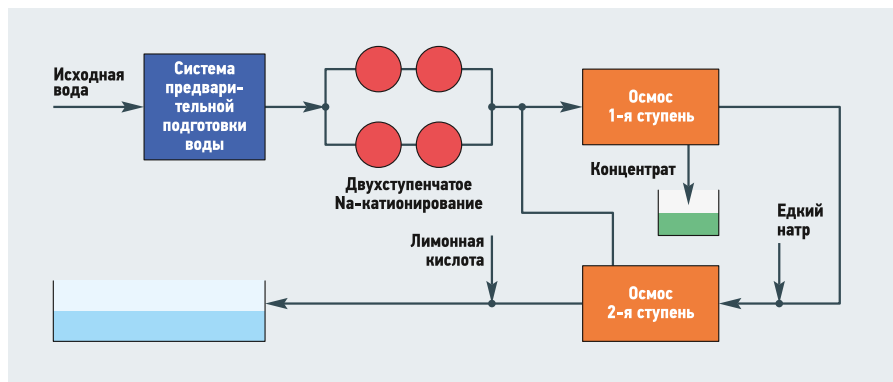


Рис. 2. Схема очистки воды от бора при условии сброса концентрата в количестве не более 10%

Результат расчёта процесса обратноосмотического обессоливания воды табл. 1

Параметр	Расход, м ³ /ч	TDS, мг/л	Бор, мг/л	pH	Индекс Ланжелье LSI	Давление, бар
Исходная вода	16,4	480,57	1,72	8,3	—	11,0
Фильтрат	12,3	12,15	0,19	9,54	—	—
Концентрат	4,1	2101,56	6,46	9,78	-0,13	9,57
Рецикл	6,0	2101,56	6,46	9,78	—	—

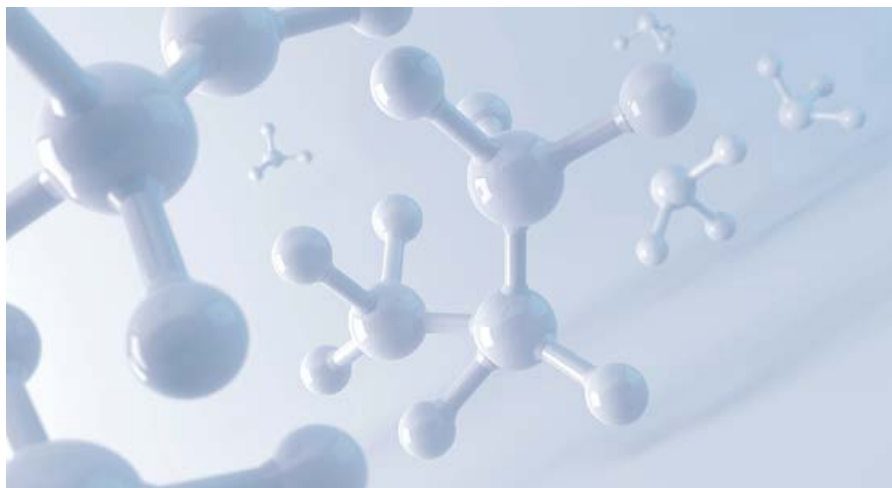
Уменьшение расхода концентрата приводит к увеличению солеосодержания концентрата и, соответственно, к повышению вероятности выпадения солей жёсткости в осадок. Поэтому даже при минимальном содержании кальция (0,02 мг/л) в воде после умягчения, при рекавери осмоса 90% и pH воды, равном 8,8, значение индекса Ланжелье составит -0,2. А если значение pH данной воды поднять до 10,0, то индекс Ланжелье окажется +0,51. На мембранах будет происходить осадкообразование. Почему так происходит?

В условиях высокого pH и высокой кратности циркуляции концентрата (высокого рекавери) создаются условия для выпадения карбоната кальция даже при его минимальной концентрации в исходной воде

Дело в том, что, хотя из воды практически полностью удаляется кальций, в ней находится достаточно большое количество бикарбонатов (4,9 мг-экв/л). Бикарбонаты составляют вторую часть осадка временной жёсткости.

Соответственно, в условиях высокого pH и высокой кратности циркуляции концентрата (высокого рекавери) создаются условия для выпадения карбоната кальция даже при его минимальной концентрации в исходной воде. Получается, что для достижения низкого расхода концентрата необходимо из воды удалять бикарбонаты. Для этого необходимо процесс обратноосмотического обессоливания проводить в две стадии. На рис. 2 представлена схема очистки воды от бора при условии сброса концентрата в количестве не более 10% от количества фильтрата. Принципиальное отличие этой схемы от первой в том, что едкий натр дозируется не перед первой ступенью осмоса (как в первой схеме), а перед второй.

В этом случае достигаются следующие условия. На первой ступени возможно получить очень высокое рекавери (90% и более). Это происходит из-за того, что вода практически не содержит кальция и в неё не дозируется едкий натр. На первой ступени осмоса из воды удаляются ионы, в том числе бикарбонаты. Полученный фильтрат, всё ещё содержащий повышенное количество бора, направляется на вторую стадию, и перед ней в воду дозируется едкий натр. Значение pH воды повышается до 10,0, и фильтрат после второй стадии содержит бора не более требуемых значений.



В чём же преимущество данной схемы? Сброс концентрата производится только с первой ступени осмоса и составляет не более 10% от производительности по очищенной воде. Теоретически, при таком построении схемы возможно добиться ещё более высокого рекавери и, соответственно, более низкого расхода сточных вод.

Концентрат после второй ступени направляется на подмес к исходной воде первой ступени осмоса. То есть после второй ступени сброс воды в канализацию отсутствует.

Расчёт данной схемы водоподготовки представлен в табл. 2 и 3. В табл. 2 представлены результаты расчёта первой ступени осмоса, в табл. 3 — второй ступени.

Как можно видеть, сброс концентрата с первой ступени осмоса составил 1,8 м³/ч. В первом случае сброс концентрата был — 4,1 т/ч. Уменьшение сброса концентрата составило 2,8 раза. Концентрат расходом 1,62 м³/ч направляется со второй ступени на вход первой ступени.



Концентрация бора в фильтрате после второй ступени составила 0,34 мг/л, что соответствует требуемому значению (менее 0,5 мг/л). Причём после первой ступени осмоса (без увеличения pH исходной воды) концентрация бора была 1,58 мг/л, а в исходной воде — 1,72 мг/л. То есть при pH = 8,8 (значение pH перед первой ступенью) практически не наблюдается селективных свойств мембраны по отношению к бору.

Также можно проследить, как меняется индекс Ланжелье по стадиям. На первой стадии осмоса индекс равен -0,31, на второй -2,16. Имеется запас по увеличению рекавери первой ступени и, соответственно, ещё большему уменьшению расхода концентрата.

В чём же преимущество данной схемы? Сброс концентрата производится только с первой ступени осмоса. После второй ступени сброс воды отсутствует

•• Результаты расчёта первой ступени осмоса

табл. 2

Параметр	Расход, м ³ /ч	TDS, мг/л	Бор, мг/л	pH	Индекс Ланжелье LSI	Давление, бар
Исходная вода	16,38	481,4	1,72	8,3		10,6
Фильтрат	16,2	32,72	1,58	7,22		
Концентрат	1,8	4478,92	12,48	8,66	-0,31	9,51
Рецикл	8,0	4478,92	12,48	8,66		

•• Результаты расчёта второй ступени осмоса

табл. 3

Параметр	Расход, м ³ /ч	TDS, мг/л	Бор, мг/л	pH	Индекс Ланжелье LSI	Давление, бар
Исходная вода	16,2	32,75	1,58	10,0		7,8
Фильтрат	14,58	6,6	0,34	9,52		
Концентрат	0,0	383,13	11,67	10,2	-2,16	6,74
Рецикл	8,0 + 1,62	383,13	11,67	10,2		

Расход фильтрата после второй ступени — 14,58 м³/ч, расход исходной воды — 16,38 м³/ч. За счёт того, что концентрат с осмоса второй ступени направляется на подмес ко входу первой ступени, значение pH исходной воды несколько возрастает (с 8,3 до 8,8). Тем не менее программа прогнозирует отсутствие осадка карбоната кальция даже при таком построении схемы. Более того, просматривается возможность ещё большего уменьшения сброса концентрата.

Вывод

Очистку воды от бора можно эффективно проводить при помощи обратного осмоса при условии соблюдения необходимых технологических параметров. При этом очистка обратным осмосом имеет ряд преимуществ перед другими технологиями — прежде всего это удаление органических веществ, а также гарантированное постоянство качества очищенной воды, отсутствие сложно утилизируемых сточных вод и ненужность дорогих реагентов для ведения процесса водоподготовки. При грамотной организации процесса обратноосмотические мембраны могут отработать более пяти лет, потребуются лишь крайне редкие профилактические мойки. ●



1. СанПиН 2.1.4.559-96. Питьевая вода и водоснабжение населённых мест. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества / Дата введ.: 01.07.1997. — М.: ИИЦ Госкомсанэпиднадзора России, 1996. 111 с.

Регенерация, утилизация и интеграция теплоты

В этой статье дано определение и разъяснение таких понятий, как регенерация, утилизация и интеграция теплоты.

В процессе функционирования сложных энергетических систем, связанных с промышленным производством, возникают локации (места), куда энергия должна быть подведена (для обеспечения процессов нагрева, испарения, варки и др.), и места, откуда она должна отводиться (для охлаждения, кристаллизации, различных экзотермических реакций производственного цикла и т.п.). Как подвод, так и отвод теплоты связаны с материальными затратами, такими как капитальные (на покупку, ремонт и эксплуатацию теплообменного оборудования), энергетические (покупка топлива, перегретого пара и другого энергоносителей), экологические (налоги и штрафы за тепловое загрязнение окружающей среды).



Очевидным средством снижения двух последних позиций затрат является решение отводимую в производственном цикле теплоту направить в места, где её необходимо подводить. Однако это не всегда возможно или возможно только частично. Дело в том, что теплота самопроизвольно может передаваться от источников с более высокой температурой к потребителям с более низкой температурой. Мощным инструментом для определения степени такой возможности является пинч-технология, позволяющая определить не только максимально возможное количество теплоты, которое можно таким образом сэкономить, но и указать пути и технические решения для реализации такой идеи, то есть назначить теплообменные связи и нагрузку на них [1]. В очевидных случаях, когда система проста и количество источников/потребителей сравнительно мало, такие связи могут назначаться технологом. При этом работу данных связей называют регенерацией или утилизацией теплоты. Однако эти понятия не тождественны и в ряде случаев требуют различия.

В работе [1], посвящённой интеграции тепловых процессов, устанавливается различие этих понятий. Так, под термином «интеграция тепловых процессов» понимается создание теплообменных связей. При этом связь может быть осуществлена как с помощью рекупера-

Под регенерацией теплоты следует понимать вторичное использование теплоты в том же производственном цикле. Утилизацией теплоты является дальнейшее использование отводимой в производственном цикле теплоты для производственных нужд

тивных теплообменных аппаратов, так и с участием тепловых насосов. Посему понятие «интеграции теплоты» наиболее общее и всеобъемлющее.

Под регенерацией теплоты следует понимать вторичное использование теплоты в том же производственном цикле.

Утилизацией теплоты является дальнейшее использование отводимой в производственном цикле теплоты для производственных нужд. В качестве примера утилизации может выступать использование теплоты от выработки электроэнергии для отопления тепличного хозяйства.



Рассмотрим в качестве примера энергетической системы для демонстрации всех трёх понятий классический автомобиль. В бензиновых двигателях нередко часть теплоты отработавших газов используется для подогрева заряда на впуске, для улучшения испарения топливно-воздушной смеси. Такая теплообменная связь является регенерацией, так как однажды отработавшая в цилиндре двигателя теплота, вновь вводится в цилиндр для вторичного использования в цикле. Включённая печь отопителя салона создаёт теплообменную связь, называемую утилизацией, так как теплота не используется в цикле, а идёт на другие нужды. Оба рассмотренных случая являются теплообменными связями и могут называться интеграцией теплоты.

Таким образом, в статье было дано определение и разъяснение таких понятий, как регенерация, утилизация и интеграция теплоты. ●

Автор: Д.С. АГАПОВ, к.т.н., доцент, кафедры «Автомобили, тракторы и технический сервис», [Санкт-Петербургский государственный аграрный университет \(СПбГАУ\)](#)

1. Картошкин А.П., Агапов Д.С. Ресурсосбережение при проектировании и эксплуатации технологического оборудования энергетических систем. — СПб.: Проспект науки, 2021. 312 с.

ОТОПЛЕНИЕ И ГВС

20 лет — полёт нормальный: юбилей компании «БДР Термия Рус»

ООО «БДР Термия Рус» в этом году отмечает своё двадцатилетие на российском рынке. Как правило, юбилей компании — это своеобразный «момент истины». Это время подведения итогов, оценки пройденного пути и определения планов на будущее.

Являясь одним из ведущих производителей и поставщиков систем отопления и горячего водоснабжения, группа компаний [BDR Thermea](#) входит в тройку лидеров на европейском отопительном рынке. Холдинг [BDR Thermea](#) был создан в конце 2009 года путём слияния BAXI Group и De Dietrich Remeha Group.

В настоящее время холдинг включает более 20 европейских заводов и занимает ведущие позиции на рынках европейских стран: Великобритании, Франции, Германии, Испании, Нидерландов и Италии, а также активно укрепляет свои позиции на быстрорастущих рынках Восточной Европы, Турции, России, Соединённых Штатов Америки и Китая.

На сегодняшний день общий годового оборот группы компаний [BDR Thermea](#) составляет €2,1 млрд.

Компания «БДР Термия Рус» поставляет оборудование основных для группы брендов [BAXI](#) и [De Dietrich](#) из Италии, Франции, Голландии, Англии, Германии и Турции. Ассортимент включает в себя традиционные и конденсационные настенные и напольные газовые котлы, газовые и электроводонагреватели, бойлеры косвенного нагрева, тепловые насосы и солнечные панели, системы автоматики и дистанционного управления котлами.

Сегодня «БДР Термия Рус» — это более 100 сотрудников, четыре региональных склада, 50 региональных складов запчастей и свыше 850 авторизованных сервисных центров. Центральный офис компании находится в Москве, вопросами маркетинговой и технической поддержки занимаются региональные партнёры «БДР Термия Рус» в 15 городах.



✪ Юрий Салазкин, генеральный директор компании «БДР Термия Рус»



Официальной датой появления [BAXI](#) в Российской Федерации считается 20 февраля 2002 года, когда было зарегистрировано представительство итальянской компании [BAXI S.p.A.](#) В 2005 году в городе Волгограде открывается первый в России фирменный магазин [BAXI](#). В том же году [BAXI S.p.A.](#) впервые занимает в России первое место по продажам газовых настенных котлов*. В 2006-м начинают работу первые пять региональных представителей [BAXI](#) в городах: Ростов-на-Дону, Екатеринбург, Новосибирск, Санкт-Петербург и Нижний Новгород. В 2010 году начинаются работы по созданию и развитию сети региональных складов запасных частей по продукции [BAXI](#). Первый такой склад был открыт в Ростове-на-Дону.

* По данным маркетингового агентства BRG Consulting (г. Лондон, Великобритания).

С 2016 года «БДР Термия Рус» развивается в формате торговой компании, объединившей в себе представительства брендов [BAXI](#) и [De Dietrich](#).

После открытия торговой компании среднегодовая динамика роста по продажам оборудования составляла более 20%. В итоге компания «БДР Термия Рус» вошла в TOP-8 крупнейших стратегических подразделений международной группы [BDR Thermea](#) по продажам и показывает стабильный устойчивый рост, что обеспечивается в том числе диверсификацией цепочек поставок (Supply Chain).

В последние два-три года идёт активная работа по развитию сотрудничества с российскими производителями, которые начали производить для компании OEM-продукты также под брендами [BAXI](#) и [De Dietrich](#).



С российским партнёром — компанией [ZOTA](#) («ЗОТА»). Новые электрические котлы [Ampera](#) получились настолько интересными и сбалансированными по характеристикам, что за первый год продаж отгрузки превысили план на 30%.

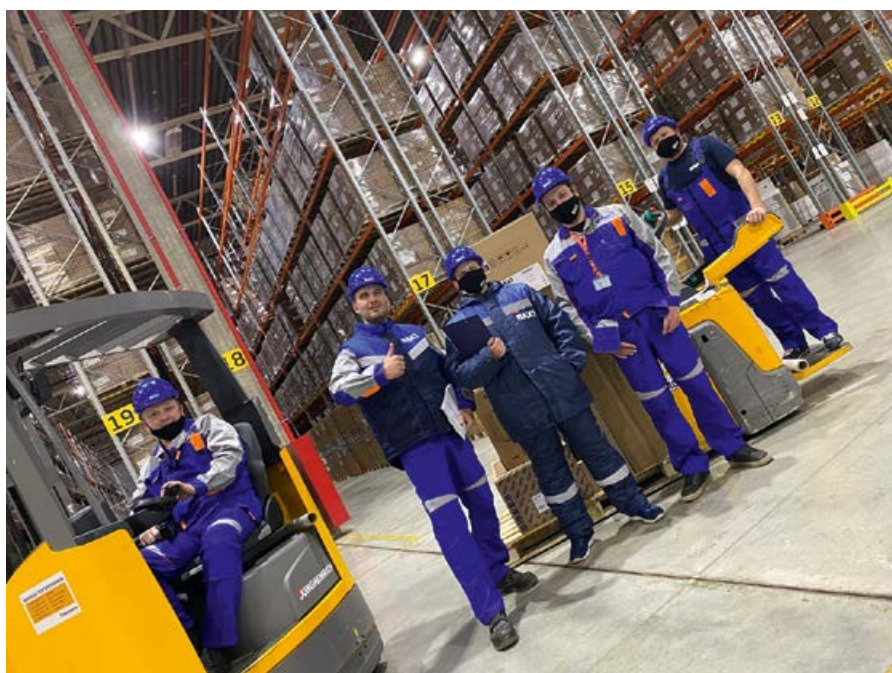
В минувшем году модельный ряд бытовых котлов [De Dietrich](#) дополнили жидкотопливные/газовые чугунные котлы [Essencio](#), которые отвечают самым строгим европейским требованиям по производительности и экологичности. Газовые конденсационные котлы [Elidens C140](#) — это тоже новинка 2021 года — отличаются компактными размерами, простотой монтажа и удобным техобслуживанием.

Под брендом [De Dietrich](#) в прошлом году на рынке России появились стальные жаротрубные котлы.

2021 год стал для «БДР Термия Рус» уникальным и в очередной раз рекордным, ведь оборот компании составил почти €95 млн. Такие показатели, как объём продаж, выручка (в евро), показатель EBITDA, продемонстрировали по отдельности почти 30%-й рост.

Для [De Dietrich](#) именно прошедший год стал коммерчески самым успешным за всё время — бренд показал рост +35%. За 2021 год количество реализованного на российском рынке котельного оборудования под брендами [BAXI](#) и [De Dietrich](#) составило почти 180 тыс. единиц. Таким образом, общий парк установленных котлов [BAXI](#) и [De Dietrich](#) неуклонно приближается к новой вехе в развитии компании в России — 1,6 млн котлов.

Главной премьерой 2021 года для компании стала линейка электрических котлов [BAXI Ampera](#) — это OEM-продукт, произведённый в сотрудничестве с рос-



Новая конструкция котла [CAR](#) разработана специально для российского рынка с учётом опыта, накопленного отечественными и европейскими производителями. Линейка котлов увеличилась с 3 до 7 МВт, соответственно, существенно расширились возможности поставок на промышленные объекты. Кроме того, это первый продукт под маркой [De Dietrich](#), который производится в России на заводе «Дорогобужкотломаш», благодаря чему снижены сроки поставки оборудования. Таким образом, данный проект — важный шаг для подтверждения амбиций по расширению присутствия [De Dietrich](#) на строительных площадках страны.

В 2019 году компания «БДР Термия Рус» выступила инициатором стратегического [Альянса «BAXI Экспо и Партнёры»](#), аналогов которому нет в Европе. На сегодняшний день в [Альянс](#) входят такие бренды, как [Grundfos](#), [Danfoss](#), [REHAU](#), [Siemens](#), [De Dietrich](#), [Thermex](#), [K-Flex](#), [Kermi](#), [BWT](#), [Flamco](#) и [Schiedel](#). Ключевой идеей нового формата стало создание экосистемы и предоставление комплексного решения для специалистов в области сантехники, отопления и вентиляции. Участники [Альянса](#) активно пропагандируют экологичные решения и «зелёные» технологии, презентуя реализованные проекты в России и разных странах мира с применением энергосберегающего оборудования и с использованием возобновляемых источников энергии.

Помимо выступлений участников [Альянса](#) на конференциях, большое внимание уделяется установлению деловых контактов с производителями, обмену опытом и компетенциями. Отдельно стоит отметить растущий интерес к мастер-классам производителей. В разных городах были использованы новые цифровые решения:



викторина Kahoot, онлайн-анкетирование, стенды виртуальной реальности (VR), 3D-модели и интерактивные экраны.

Участники [Альянса «BAXI Экспо и Партнёры»](#) презентовали трейд-маркетинговые акции, программы лояльности, конкурсы и новые цифровые сервисы для монтажников.

За время работы [Альянса «BAXI Экспо и Партнёры»](#) состоялось более 40 отраслевых выставок во многих городах России, в рамках которых были представлены ин-

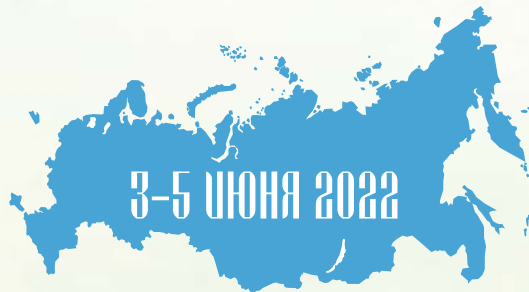
новационные и технологичные решения лидирующих европейских производителей оборудования. В период пандемии проект продолжился в цифровом формате — было проведено более 20 онлайн-конференций.

В основе ценностного мировоззрения «БДР Термия Рус», которое компания сохранила и пронесла с собой на протяжении 20 лет, лежит честность и открытость в отношениях с партнёрами, участниками рынка и сотрудниками. Долгосрочное сотрудничество и клиентоориентированность — приоритетное направление в развитии бизнеса. В своей работе компания стремится к укреплению деловых отношений, совместному обоюдному развитию и обмену экспертизой.

Компания «БДР Термия Рус» считает Agility-трансформацию одним из основных приоритетов развития для успешной конкуренции в условиях высокой неопределённости и быстрых изменений внешней среды за счёт адаптивности, инновационности и клиентоцентричности. Важную роль в Agility-трансформации играют сотрудники компании, их принятие перемен, вовлечённость и мотивация на развитие новых компетенций и навыков.

На глобальном уровне [BDR Thermea Group](#) присоединилась к международным инициативам ООН и других организаций в области устойчивого развития. Комплексный подход [BDR Thermea Group](#) отражает аббревиатура ESG (Environmental, Social, Corporate Governance — в переводе «Экологическое, социальное и корпоративное управление»), обозначая ключевые направления развития: заботу об окружающей среде, решение социальных задач и повышение качества корпоративного управления. Все эти факторы являются основополагающими при формировании экосистемы [BAXI](#) в России. ●





VIII ВСЕРОССИЙСКИЙ ФОРУМ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ
РОССИЯ

www.rusenergoforum.ru



МОСКВА – КАЛАЗИН – МОСКВА

Уважаемые друзья, коллеги!

ПРИГЛАШАЕМ ВАС

**К УЧАСТИЮ В VIII ВСЕРОССИЙСКОМ ФОРУМЕ
«ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ РОССИЯ»!**

www.rusenergoforum.ru

Организатор:

Национальное объединение организаций в области энергосбережения
и повышения энергетической эффективности (НОЭ)

при поддержке

РОО «Общественный совет по развитию саморегулирования»

Генеральный информационный партнёр:

Журнал СОК (Сантехника. Отопление.
Кондиционирование. Энергосбережение)

Стратегический партнёр:

Отраслевой журнал «Строительство»

Официальная поддержка:

Государственная Дума Федерального Собрания Российской Федерации
Министерство энергетики Российской Федерации
Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации
Министерство экономического развития Российской Федерации

ОТОПЛЕНИЕ И ГВС

ИЭМЗ «Купол»: высокие технологии оборонпрома – гражданскому производству

[Ижевский электромеханический завод «Купол»](#) (входит в состав концерна [ВКО «Алмаз-Антей»](#)) — головной производитель и разработчик ЗРК семейства «Тор» — на протяжении многих лет ведёт активную диверсификацию производства. Предприятие добилось крупных успехов в разработке и производстве широкой номенклатуры продукции гражданского и двойного назначения. В её числе — [газовые системы лучистого отопления](#).

Меньше затраты на отопление – выше прибыль

В условиях русской зимы эффективное решение задачи отопления производственных помещений является одним из важнейших факторов успеха любого предприятия. Высокоэкономичный способ отопления предлагает [ИЭМЗ «Купол»](#). Более 20 лет предприятие выпускает различное климатическое оборудование, в том числе [газовые системы лучистого обогрева \(ГСЛО\)](#).

В основе системы — инфракрасные обогреватели, которые работают на природном или сжиженном газе. Они устанавливаются в верхней части помещения на высоте от 3,5 м и испускают тепловые лучи, близкие по длине волны к солнечному излучению в инфракрасной части спектра. Инфракрасное излучение в таком спектре безопасно для человека, а продукты горения не контактируют с окружающим воздухом и выводятся наружу через систему дымоудаления.

Излучение проходит сквозь воздух, нагревая не весь объём помещения, а только пол и прочие поверхности, с которыми непосредственно контактируют люди.

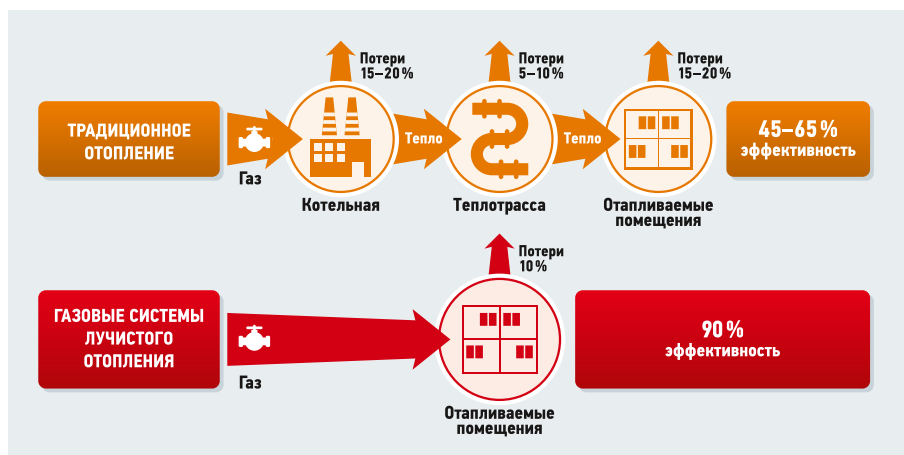
Это позволяет избежать перепада температур по высоте объекта и ненужных затрат на нагрев неиспользуемого пространства. В комплект поставки входит система управления, которая ведёт непрерывный мониторинг и осуществляет зональный обогрев по заданным температурным режимам: рабочему, дежурному, режиму «выходного дня». Только за счёт перевода системы в дежурный режим в нерабочее время предприятие может сэкономить до 40 % газа в год.

Система обеспечивает экономичный обогрев производственных цехов, мастерских, депо, ангаров и других сооружений. По сравнению с новой котельной использование [газовых систем лучистого обогрева](#) позволяет уменьшить капитальные затраты на 20 % и практически вдвое сократить операционные расходы.

[Газовые системы лучистого обогрева](#) производства [ИЭМЗ «Купол»](#) отличаются низкой стоимостью и высокой безопасностью. Широкий выбор мощностей позволяет подобрать модели, оптимальные для имеющихся помещений, а применение современных материалов обеспечивает долгий срок эксплуатации.



⚡ [Газовая система лучистого обогрева \(ГСЛО\) серии ИКНГ производства ИЭМЗ «Купол»](#)



⚡ Сравнение эффективности систем централизованного и инфракрасного отопления



Сферы применения газовых систем лучистого обогрева ИЭМЗ «Купол»

Учитывая перспективность направления, обусловленную высокой потребностью рынка в газовом оборудовании, предприятием ведётся работа по расширению номенклатуры указанного товарного направления, освоены модификации ГСЛО с повышенным классом брызго- и влагозащищённости.

В настоящее время разработан газовый инфракрасный излучатель «светлого» типа, работающий на природном газе, тепловой мощностью 30 кВт. Данные из-

лучатели являются самыми востребованными на рынке. В перспективе линейка изделий будет расширяться и совершенствоваться в зависимости от запросов потребителей.

«Осваивая новую продукцию, мы значительно расширяем компетенции гражданского блока ИЭМЗ «Купол» в части энергосберегающих технологий. Газовые инфракрасные обогреватели «светлого» типа применяются для отопления очень высоких помещений, таких как самолётные

ангары, а также для обеспечения технологических процессов — размораживания вагонов, сыпучих материалов и так далее. Выход в сегмент излучателей «светлого» типа позволяет нашему предприятию значительно расширить число отраслей-партнёров и громче заявить о себе как о производителе газового теплового оборудования самого широкого спектра», — комментирует ведущий специалист коммерческого управления, руководитель проекта «Газовое промышленное отопление» ИЭМЗ «Купол» Алексей Синютин.

Тепловая энергия, образующаяся при сгорании газа, незаменима и для создания комфортной среды, которая требуется домашним животным и растениям. Газовый инфракрасный обогрев обеспечивает более стабильную температуру в помещении, обладает высокой экономической эффективностью и экологически безопасен. Принимая во внимание эти факторы, завод планирует развивать линейку для агропромышленного комплекса.

На счету ИЭМЗ «Купол» более ста крупных проектов по установке систем ГСЛО: в общей сложности реализовано более тысячи изделий, которые обогревают энергетические и инфраструктурные объекты, предприятия машиностроения и металлургии. Концерн ВКО «Алмаз-Антей» признал ижевские ГСЛО наиболее эффективными образцами российского энергосберегающего оборудования и рекомендовал их к внедрению на своих предприятиях. В 2021 году «Купол» реализовал проект по оснащению производственных помещений одного из предприятий концерна — Нижегородского завода 70-летия Победы.

При реализации проектов предприятие ИЭМЗ «Купол» осуществляет весь комплекс работ «под ключ»: энергоаудит объекта, проектирование, поставку оборудования, монтаж и пусконаладочные работы, гарантийное и сервисное обслуживание, а также проводит обучение персонала. Большой опыт монтажных работ и высокий профессионализм работников предприятия позволяют обеспечить надёжность и долговременность эксплуатации установленного оборудования. ●

АО «Ижевский электромеханический завод «Купол»

426073, г. Ижевск,
ул. Молодёжная, д. 111
Коммерческое управление:
Тел. +7 (3412) 91-70-63
E-mail: 071@kupol.ru

kupol.ru



Ижевский электромеханический завод «Купол»

Ижевский электромеханический завод «Купол», основанный в 1957 году, входит в состав концерна ВКО «Алмаз-Антей» и является одним из ведущих предприятий российского оборонного комплекса. Основная специализация предприятия — производство зенитных ракетных комплексов малой дальности «Тор-М2». Завод также изготавливает бортовую аппаратуру ракет класса «земля-воздух», осуществляет модернизацию ЗРК «Оса-АКМ» и «Тор-М1», оказывает сервисные услуги эксплуатирующим организациям.

Высокие технологии оборонной промышленности ИЭМЗ нашли широкое применение и в производстве продукции гражданского назначения, ориентированной на потребности современного рынка, в том числе отопительного и климатического оборудования. Заводом, помимо непосредственного производства продукции гражданского назначения, предоставляется широкий спектр сопутствующих услуг, начиная от проектирования, изготовления и доставки оборудования, оснастки, узлов, деталей и заканчивая монтажом, пусконаладкой, обучением персонала, гарантийным обслуживанием.

Современные наукоёмкие технологии, высококвалифицированные специалисты, высокое качество выпускаемой продукции, надёжность партнёрских отношений, стремление к лидерству на мировом уровне — основные принципы деятельности ИЭМЗ «Купол», которые в полной мере отвечают и требованиям завтрашнего дня.



О перспективах применения электрокотлов для автономных систем теплоснабжения малой мощности

«Отопление электричеством — самый дорогой способ поддержания температуры в помещении».

Это заявление считается категорическим императивом — безусловным принципом для всех систем отопления. Но действительно ли оно настолько верно, если рассматривать весь объём затрат, связанных со строительством автономных систем отопления и горячего водоснабжения, особенно если речь идёт об инженерной системе для помещений площадью до 70 м²?

Автор: А.Л. ТОРОПОВ, к.т.н., изобретатель СССР и РФ, главный конструктор завода «Ардерия»

Если убрать предрассудки, то, в конечном итоге, всех интересуют экономические оценки. При рассмотрении вопросов отопления помещений заказчика интересует не столько стоимость отдельно котла, труб, автоматики, отопительных приборов, сколько конечная цена всей системы, стоимость топлива и годового сервиса, срок службы оборудования. Но и это ещё не всё. Необходимо учитывать стоимость дымовых труб, если они есть, и стоимости подвода инженерных коммуникаций, разрешений на подключение, разработки самого проекта, наконец. Стоимость составляющих проект частей очень важна, но потребителям нужен конечный результат — цена всей системы теплоснабжения в целом, её проектирования, строительства и эксплуатации.

Для современных автономных систем отопления одним из важнейших факторов, влияющих на энергетическую эффективность, является управляемость системы — способность изменения параметров отопления в зависимости от меняющихся условий температуры внешней среды и требований человека. Чем быстрее система отопления подстраивается под эти условия, тем она эффективней. Также важно, чтобы система отопления была способна реагировать на температуру атмосферного воздуха во всём её возможном диапазоне — от +15 °С, когда возникает потребность включения отопления, до -25–35 °С, ведь такие температуры часто бывают в нашей стране в холодные зимние периоды.

Какой мощности должен быть котёл для обеспечения всей системы теплоснабжения индивидуального дома или квартиры с отапливаемой площадью 40–70 м²? В подавляющем большинстве для обеспечения автономного теплоснабжения таких помещений применяют настенные газовые котлы. Подробно история их развития, включая современные конденсационные теплоагрегаты, описана в [1, 2]. Выделим два фактора из особенностей их работы. Первый — настенные газовые котлы не работают одновременно на

отопление и подготовку горячей воды, они либо отапливают помещение, либо подогревают воду. Второй — конвекционные газовые котлы не работают с нагрузкой менее 40 % от максимальной. То есть, если у вас котёл на 24 кВт, он не работает с реальной нагрузкой менее 9 кВт [3].

Какова должна быть мощность котла на отопление для компенсации тепловых потерь в небольшой квартире?

Для современных автономных систем отопления одним из важнейших факторов, влияющих на энергоэффективность, является управляемость системы — способность изменения параметров отопления в зависимости от меняющихся условий температуры внешней среды и требований человека. Чем быстрее система отопления подстраивается под эти условия, тем она эффективней

В качестве примера возьмём расчёт, произведённый в работе [4]. Двухкомнатная квартира общей площадью 46 м² на шестом этаже восьмизэтажного дома, расположенного в городе Санкт-Петербурге: окна в двух комнатах и кухне выходят на одну сторону (западную), высота потолков — 2,51 м, кирпичные стены, толщина внешней стены — 50 см, внутренней (на лестничную клетку) стены — 40 см, с двух сторон боковых стен имеются соседи, один балкон с площадью остекления 8,1 м². Температура в квартире $t_p = 20^\circ\text{C}$, в холодное время $t_n = -24^\circ\text{C}$, тепловое сопротивление окон $R_0 = 0,43 \text{ м}^2\cdot\text{K}/\text{Вт}$.

Далее приведём расчёт.

Суммарные тепловые потери составляют 2415 Вт, потери за счёт инфильтрации воздуха — 457 Вт. Теплоотдача от бытовых приборов — 487 Вт, от людей — 90 Вт. Общая тепловая потребность квартиры составит величину:

$$Q_{\text{потр}} = 2415 + 457 - 487 - 90 = 2295 \text{ Вт.}$$



BRUGMAN

СТАЛЬНЫЕ ПАНЕЛЬНЫЕ РАДИАТОРЫ

Сделаны в России по лицензии Vasco (Бельгия)

МОДЕЛЬ FEK

боковое подключение

Длина
400 - 2000 мм

Модель FEV

вентильное исполнение,
нижнее подключение

11, 21, 22, 33 тип

Высота 300, 500 мм

Сталь толщиной **1,24 мм**

Рабочее
давление **10 бар**

Цвет белый (RAL 9016)

Оборачиваемые радиаторы*

Профильная поверхность

Реклама
*Кроме радиаторов 11 типа



СТАЛЬНЫЕ ПАНЕЛЬНЫЕ РАДИАТОРЫ

Рассчитанная тепловая потребность для отопления квартиры определена для температуры -24°C , что соответствует температуре самой холодной пятидневки для места расположения квартиры (Санкт-Петербург) согласно [5].

Из архива климатических данных по Санкт-Петербургу [6] следует, что для этого города самым холодным месяцем является январь со средней минимальной температурой $-6,2^{\circ}\text{C}$, а средняя минимальная температура наружного воздуха отопительного сезона составляет $-2,2^{\circ}\text{C}$. Данные расчёта приведены с завышением, поскольку в расчёте принято, что температура на лестничной клетке равна температуре атмосферного воздуха. Расчёт, выполненный по существующим методикам и государственным стандартам, показывает, что тепловая потребность квартиры на отопление не превышает $2,3 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ при экстремально низких температурах и $1,15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ при средних за отопительный сезон температурах.

Таким образом, данный расчёт свидетельствует, что на территории РФ для квартир в многоэтажных домах, в которых установлено автономное отопление, вполне достаточно, чтобы мощность котла составляла 500 Вт на 10 м^2 . Это гарантированно обеспечит поддержание комфортной температуры в помещении. Реальные средние теплотери в отопительный период не превышают 600 кВт в месяц, что при стоимости около 5 руб. за 1 кВт составит 3000 руб. При использовании настенного газового котла этот режим отопления обойдётся в три-пять раз дешевле. Получается, что при поквартирном теплоснабжении разница в использовании электрического обогрева в сравнении с газовыми котлами очень большая.



Но всё это для случаев, когда за киловатт электрической энергии жильцы платят по обычному тарифу. Несколько десятков лет назад было принято решение о замене газовых плит на электрические, и для домов с последними введён льготный тариф. Если применительно к отоплению на электрических котлах будет использован аналогичный тариф, то ситуация меняется, и затраты на отопление могут составить около 2000 руб. в месяц. Это более адекватная цена для автономного поквартирного электрического теплоснабжения. Если изначально проектировать дом при отсутствии газоснабжения, то не нужны внутренняя сеть газовых труб, разрешения на подключение газа, дымоходы, поскольку нет дымоудаления, нет вопроса забора воздуха извне. Все эти инженерные коммуникации стоят около $4-6\%$ от стоимости проекта. При условной стоимости квартиры в 3 млн руб. эти затраты

выливаются в 150 тыс. руб. , что эквивалентно 30 месяцам бесплатного пользования. Кроме того, годовое обслуживание газовых котлов проблемнее и дороже, чем электрических.

В работах [7, 8] рассмотрены вопросы использования ночных тарифов, аккумуляторов тепла, позволяющих снизить затраты ещё в два раза. Данные системы хорошо интегрируются в комбинированные системы с тепловой солнечной генерацией, в том числе с пространственными вакуумными солнечными коллекторами [9].

Если рассмотреть все указанные факторы на момент проектирования многоквартирных, многоэтажных домов с автономными системами теплоснабжения и изначально закладывать отсутствие подвода газа к объекту и, как следствие, отсутствие систем дымоудаления и подачи воздуха, то в ряде южных районов РФ, а также в районах с низкой стоимостью электрической энергии установка автономных систем теплоснабжения на основе электрических котлов может быть оправдана с экономической точки зрения.

В использовании настенных газовых котлов для поквартирного теплоснабжения есть ещё один негативный момент. Проектирование и подбор мощности теплогенератора для автономных систем теплоснабжения, согласно действующим в настоящий момент нормам, ведётся на экстремально низкие температуры. Сама идея использования настенных газовых котлов для поквартирного отопления — вынужденная мера. Развитие жилищного строительства идёт быстро, а система централизованного теплоснабжения либо устарела и требует больших затрат на реконструкцию и подключение дополнительных мощностей, либо в новых районах строительства её просто нет.



Отсюда и предложение — установить настенный газовый котёл в каждую квартиру для обеспечения отоплением и горячей водой. При этом обычно используют настенный газовый двухконтурный котёл мощностью 24 кВт. Для подготовки проточной горячей воды квартиры с двумя точками разбора горячей воды (ванной и кухни) нужна мощность 20–24 кВт. А мощность 24 кВт на отопление квартиры не просто велика — она в десять раз выше необходимой.

На рис. 1 представлены два диапазона изменения тепловой мощности стандартного настенного газового котла. Первый диапазон работы котла обычно оказывается режимом «включения-выключения». Это зона дискретного управления мощностью котла. Если теплотери помещения маленькие, то агрегат будет работать с паузами в режиме «тактования». Чем меньше потребная тепловая нагрузка, тем чаще будет включаться и выключаться котёл. Второй диапазон — работа в режиме плавного изменения мощности котла. В нём система управления работой котла точно отслеживает изменение тепловых потерь помещения и корректирует мощность источника тепла.

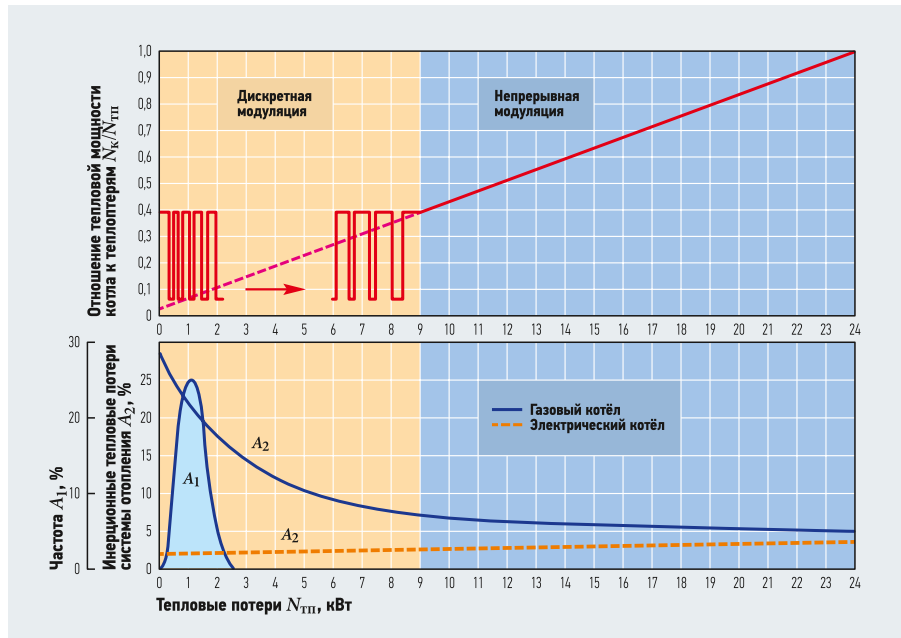
На рис. 1 также отражена потребная мощность котла для рассматриваемой санкт-петербургской двухкомнатной квартиры площадью 46 м².

Как видно из рисунка, в течение всего отопляемого периода времени года потребная мощность котла в режиме отопления находится в начале координат и всегда значительно меньше минимальной мощности диапазона непрерывной модуляции мощности. Любой системе управления свойственны ошибки, приводящие к потерям. В нашем случае это потери тепла (считай — денег).

Помещения и системы отопления обладают тепловой инерцией. Чем грубее система управления, тем больше ошибки, тем больше потери. На рис. 1 также имеется график инерционных потерь тепла (ошибок системы управления) для настенного газового котла.

Видно, что в зоне потребной мощности для отопления в рассматриваемом примере они максимальные.

Любой настенный газовый котёл в режиме отопления не будет работать в зоне модуляции тепловой мощности. Он работает в режиме периодического «включения-выключения», где инерционные тепловые потери максимальные. Такая эксплуатация настенных котлов не соответствует их расчётному режиму работы, они были созданы для другого. В период газификации территории Европы встал



•• Рис. 1. Диапазоны изменения тепловой мощности и инерционные потери тепла для стандартного настенного газового котла (для рассматриваемого примера двухкомнатной квартиры в Санкт-Петербурге площадью 46 м²)

вопрос об автономной системе теплоснабжения индивидуальных домов площадью 150–200 м² и обеспечения его горячей водой — вот так и появились компактные микрокотельные, решающие эти вопросы [1, 2], которые впоследствии трансформировались в современное автономное поквартирное отопление.

На рис. 1 также показан график инерционных тепловых потерь для электрического котла. У современных электрических котлов, использующих симисторное электронное управление, небольшой шаг изменения мощности и алгоритмы

плавного изменения тепловой нагрузки, поэтому график тепловых потерь практически постоянен во всём диапазоне изменения мощности агрегата — от нуля до максимума. Такие котлы максимально приспособлены для работы в условиях широкого диапазона изменения тепловой нагрузки и обладают минимальными тепловыми инерционными потерями, то есть характеризуются наибольшей энергетической эффективностью для автономных систем теплоснабжения с теплоносителем.

Если рассматривать поквартирное отопление на основе газовых теплогенераторов, то для такого теплоснабжения (отопления и подготовки горячей воды) целесообразным является применение газового котла с максимальной мощностью 5–6 кВт·ч, который работает в паре с бойлером косвенного нагрева объёмом 150–200 л для подготовки горячей воды.

Данного объёма бойлера и мощности котла достаточно для комфортного обеспечения горячей водой семьи до пяти человек. Однако это целесообразно для квартир площадью 75–90 м².

Для квартир с площадью 40–50 м² газовый котёл мощностью 5–6 кВт для отопления всё равно будет слишком мощным, поскольку даже для экстремально низких температур теплотери составляют около 2,5 кВт·ч. В этом случае электрические котлы наиболее эффективны, особенно их применение целесообразно для поквартирного теплоснабжения в южных регионах России. Уже есть примеры такого подхода к вопросам теплоснабжения на постсоветском пространстве. В Республике Беларусь для ряда многоквартирных домов изначально проектировалось теплоснабжение с помощью электрокотлов.

Для квартир, имеющих площадь 40–50 м², газовый котёл мощностью 5–6 кВт для отопления оказывается слишком мощным, поскольку даже для экстремально низких температур теплотери в квартире равны примерно 2,5 кВт·ч. В этом случае целесообразнее применять электрические котлы



Первые опыты эксплуатации выявляют ошибки, и одна из главных претензий связана с горячим водоснабжением. Для ГВС в квартирах использовались накопительные электрические бойлеры объёмом 100 л. Если люди пользуются ванной, а не душем, то наполнить её не удастся. Мощности бойлера в 1–2 кВт явно недостаточно для комфортного потребления горячей воды. Решить данный вопрос можно с помощью бойлера косвенного нагрева объёмом 150–200 л посредством подключения его к котлу мощностью 6–9 кВт, работающему в режиме «ГВС». В режиме «отопление» можно установить максимальную мощность 2–4 кВт, в зависимости от размеров квартиры. Некоторые электрические котлы имеют широчайший диапазон модуляции мощности и могут быть настроены для работы в двух режимах.

При использовании электроэнергии для теплоснабжения возможно применение и других способов нагрева помещений. Это могут быть электрические конвекторы, масляные электрические радиаторы, тепловентиляторы, тепловые насосы и т.д., но они не могут быть использованы для подготовки горячей воды. Применение электрокотлов для обогрева помещений с помощью отопительных приборов (радиаторы, конвекторы, тёплые полы) также дают возможность интегрировать данные системы в комбинированные системы теплоснабжения. Например, установка теплового аккумулятора объёмом 150 л даёт возможность использовать ночной тариф оплаты электроэнергии [7]. А при размещении в контуре системы отопления, помимо теплового аккумулятора, ещё и солнечных вакуумных коллекторов возможно использование энергии солнца.

При рассмотрении вопроса использования электрического теплоснабжения для отдельных индивидуальных домов нужно отметить, что тепловые потери у них выше, чем в квартирах аналогичной площади, примерно на 50–70%. Это связано с тем, что у последних часть ограждающих конструкций — общая с соседями.

Из экономических соображений для индивидуальных домов площадью более 100 м² целесообразно применение газовых котлов. Применение электрического отопления для индивидуального строительства имеет смысл в случаях отсутствия магистрального газа или же расположения домов в южных регионах страны.

Выводы

Исследование показало, что тепловые потери на отопление малогабаритных квартир в многоэтажных домах современных типов практически не превышают 2,5 кВт·ч, даже при экстремальных минусовых температурах атмосферного воздуха. Если избежать затрат на подвод инженерных газовых коммуникаций и систем дымоудаления на этапе проектирования, то образовавшаяся экономия денежных средств, наряду с отсутствием затрат на ежегодный сервис газовых котлов и возможностью получения особых тарифов расхода электроэнергии для отопления, может обосновать замену газовых котлов на электрические.

Вопрос подготовки горячей воды в данных случаях решается при помощи бойлеров косвенного нагрева, подключённых к электрическому котлу, либо накопительных электрических водонагревателей.

Итак, применение электрокотлов для поквартирного теплоснабжения даёт более высокий уровень комфорта. Они безопаснее и проще в эксплуатации. Однако экономически электрическое теплоснабжение (по сравнению с газовым) целесообразно для квартир (в МКД) площадью до 70–80 м². ●

1. Торопов А.Л. Настенные газовые котлы автономных систем теплоснабжения. История создания. Основные элементы. Классификация. Ч. 1. Конвекционные настенные газовые котлы: учебное пособие. — М.: ИД Академии естественных наук, 2020. 60 с.
2. Торопов А.Л. Настенные газовые котлы автономных систем теплоснабжения. История создания. Основные элементы. Классификация. Ч. 2. Конденсационные настенные газовые котлы: учебное пособие. — М.: ИД Академии естественных наук, 2020. 68 с.
3. Торопов А.Л. Исследование работы газовых клапанов конвекционных котлов малой мощности // АВОК, 2020. №3. С. 58–61.
4. Пилипенко Н.В. Тепловые потери и энергетическая эффективность зданий и сооружений: учебное пособие. — СПб.: Университет ИТМО, 2016. 54 с.
5. СНиП 23.01–99*. Строительная климатология (с Изм. №1) / Дата введ.: 01.01.2000. — М.: Госстрой России: ГУП ЦПП, 2003.
6. Отопительный период, архивы и статистика. Ленинградская область. Санкт-Петербург [Электр. текст]. Climate-Energy. Режим доступа: climate-energy.ru. Дата обрац.: 07.01.2022.
7. Торопов А.Л. Особенности применения тепловых аккумуляторов для автономных систем отопления малой мощности // Журнал СОК, 2021. №11. С. 53–55.
8. Торопов А.Л. Комбинированные тепловые гелиосистемы. Ч. 2. Тепловые аккумуляторы, бойлеры косвенного нагрева для индивидуальных и децентрализованных систем отопления и горячего водоснабжения: учебное пособие. — М.: ИД Академии естественных наук, 2019. 44 с.
9. Патент РФ RU 192169 U1. МПК F24S 10/40, 21/00. Водонагреватель солнечный / А.Л. Торопов. Заявл.: 14.02.2019; опубл.: 05.09.2019. Бюл. №25.

КОТЕЛ HYDROMOTRIX EVOLUTION

25 - 32 - 45 кВт



НОВИНКА 2022
45 кВт
ПРИНУДИТЕЛЬНАЯ
ТЯГА

Низкотемпературный котел премиум класса, Идеально подходит для реновации котельной

- одноконтурный или двухконтурный
- настенный или напольный
- насос стандарта ErP
- встроенная функция модульной котельной

www.frisquet.com

ООО «ФРИСКЕ РУС»
125040, Российская Федерация, г. Москва
3-я ул. Ямского Поля, дом 28



Синтез теплообменных сетей с учётом локаций теплоисточников, стоков и утилит

В процессе функционирования промышленных предприятий возникает множество локаций потребления тепловой и других видов (электрической, механической) энергий. При этом передача всех прочих требуемых видов энергии в масштабе предприятия не вызывает существенных финансовых затрат, поскольку электрическая энергия подводится по проводникам, имеющим относительно невысокое омическое сопротивление, а механическая энергия, как правило, обычно образуется в требуемом месте из какой-то другой формы (тепловой, электрической). Передача же тепловой энергии сопряжена с организацией и обслуживанием теплосетей, от рациональности проектирования которых зависят материальные затраты на их эксплуатацию. При проектировании тепловых сетей чаще рассматриваются вопросы трассировки потоков при заданных локациях теплоисточников и потребителей.

Синтез теплообменной сети на основе пинч-технологии связан с выбором локаций теплоисточников и потребителей из имеющегося массива данных. При этом учитывается ряд факторов, влияющих на выбор теплообменных связей: движущая

сила (разность температур теплоисточников и приёмников теплоты), площадь поверхностей теплообменных аппаратов и даже в отдельных случаях вместо абсолютной используется эксергетическая температура для учёта потерь от неравновесности теплообменных процессов [1].

Синтез теплообменной сети на основе пинч-технологии связан с выбором локаций теплоисточников и потребителей из имеющегося массива данных. При этом обязательно учитывается ряд факторов, влияющих на выбор теплообменных связей

Известно, что при расчёте общих тепловых потерь теплообменной сети определяются потери теплоты на один погонный метр длины трубопровода [2]. Это обстоятельство при назначении теплообменных связей в пинч-технологии не учитывается. Данная работа посвящена введению в пинч-технологии синтеза теплообменных сетей фактора локализации теплоисточников, потребителей и утилит.

Рецензия эксперта на статью получена 09.12.2021 [The expert review of the article received on December 9, 2021].

УДК 620.97. Научная специальность: 05.14.04.

Синтез теплообменных сетей с учётом локаций теплоисточников, стоков и утилит

Д. С. Агапов, к.т.н., доцент, кафедра «Автомобили, тракторы и технический сервис», Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (СПбГАУ)

Для синтеза теплообменных сетей существует мощный инструмент, называемый пинч-технологией, позволяющий интегрировать технологические потоки теплоты и уже на этапе проектирования определить целевые показатели энергоэффективности системы. Однако при этом не учитывается удалённость (локализация) интегрируемых потоков, что приводит к игнорированию в расчёте потерь теплоты при её транспортировке. Частично данная проблема может быть решена рациональным разбиением всей системы на ряд подсистем, оптимизацию каждой из которых ведут отдельно. Данная работа направлена на совершенствование пинч-технологии за счёт включения в рассмотрение удалённости технологических источников и потребителей теплоты. Это позволит не разбивать систему на несколько, а рассматривать все необходимые технологические потоки.

Ключевые слова: пинч-технология, источники теплоты, потребители теплоты, теплообменные сети, интеграция тепловых процессов, энергоэффективность.

UDC 620.97. The number of scientific specialty: 05.14.04.

Synthesis of heat exchange networks taking into account the location of heat sources, drains and utilities

D. S. Agapov, PhD, Associate Professor, the "Cars, tractors and technical service" Department, St. Petersburg State Agrarian University (SPbGAU)

For the synthesis of heat exchange networks, there is a powerful tool called pinch technology that allows you to integrate technological heat flows and determine the energy efficiency targets of the system already at the design stage. However, the remoteness (localization) of the integrated flows is not taken into account, which leads to ignoring heat losses during its transportation in the calculation. Partially, this problem can be solved by rationally dividing the entire system into a number of subsystems, each of which is optimized separately. This work is aimed at improving pinch technology by including the remoteness of technological sources and consumers of heat in the consideration. This will allow you not to split the system into several, but to consider all the necessary technological flows.

Key words: pinch technology, heat sources, heat consumers, heat exchange networks, integration of thermal processes, energy efficiency.

Принцип пинч-технологии не позволяет учесть потери теплоты при транспортировке, просто вычтя их из теплоты источников, так как на этапе проектирования сети потери ещё неизвестны. Однако в процессе синтеза теплообменной сети при назначении теплообменной связи имеется возможность определять эти потери непосредственно для данного создаваемого потока. Назначение теплообменной связи производится для весьма ограниченного числа потоков локализованных на пинче, при этом предпочтение отдаётся связи с максимальной тепловой нагрузкой с целью минимизации количества теплообменников в сети [1, 2]. В данной работе предлагается при назначении связи в процессе синтеза теплообменной сети предприятия руководствоваться минимумом относительных потерь теплоты, определяемых соотношением $Q_{\text{п}}/Q_{\text{max}}$ для потоков, расположенных на пинче.

Потери теплоты $Q_{\text{п}}$ предлагается определять для стационарного режима цилиндрического n -слойного трубопровода при граничных условиях третьего рода:

$$Q_{\text{п}} = \frac{\pi l(t - t_0)}{\frac{1}{\alpha_1 d_{\text{вн}}} + \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{1}{2\lambda_i} \right) \ln \left(\frac{d_{i+1}}{d_i} \right) + \frac{1}{\alpha_2 d_{\text{нар}}}}, \quad (1)$$

где l — протяжённость теплообменной связи, которая определяется локализацией теплоисточников и потребителей, а также траекторией соединительного трубопровода, м; t — среднеинтегральная температура теплового агента, К; t_0 — температура окружающей среды, К; $d_{\text{вн}}$ и $d_{\text{нар}}$ — внутренний и наружный диаметры транспортирующего трубопровода, соответственно, м; α_1 и α_2 — коэффициенты теплоотдачи от агента к внутренней поверхности трубопровода и от наружной поверхности трубопровода окружающей среде, соответственно, Вт/(м²·К);



d_i и λ_i — диаметр [м] и коэффициент теплоотдачи [Вт/(м²·К)] i -го слоя трубопровода, соответственно.

Максимальное значение теплоты, передаваемого от горячего потока к холодному, определяется из выражения (2), предложенного в работе [3]:

$$Q = \begin{cases} \min(Q'_r; Q'_x), \min(Q'_r; Q'_x) \geq 0 \\ 0, \min(Q'_r; Q'_x) < 0 \end{cases}, \quad (2)$$

здесь Q'_r — наибольшая теплота, которую сможет отдать горячий поток в условиях температурных ограничений; Q'_x — наибольшая теплота, которую сможет воспринять холодный поток в условиях температурных ограничений:

$$Q'_r = c_{p,r} \{ T'_{r,n} - \min[\max(T'_{x,n}; T'_{r,k}); T'_{r,n}] \}, \quad (3)$$

$$Q'_x = c_{p,x} \{ \max[\min(T'_{x,k}; T'_{r,n}); T'_{x,n}] - T'_{x,n} \}, \quad (4)$$

где $c_{p,x}$ и $c_{p,r}$ — потоковые теплоёмкости холодного и горячего теплоисточников, соответственно, Вт/К; $T'_{x,n}$ и $T'_{r,k}$ — «сдвинутые» начальная и конечная температуры холодного потока, соответственно, К; $T'_{r,n}$ и $T'_{r,k}$ — «сдвинутые» начальная и конечная температуры горячего потока, соответственно, К.

Сдвиг температур горячих и холодных потоков заложен в пинч-технологии для обеспечения заданной величины температурного напора ΔT .

При этом, как правило, температуры холодного потока поднимают на величину $\Delta T/2$, а температуры горячего потока опускают на величину $\Delta T/2$ [1].

В этом случае формулы для сдвигания представятся в следующем виде:

$$\begin{aligned} T'_{r,n} &= T_{r,n} - \frac{\Delta T}{2}; & T'_{r,k} &= T_{r,k} - \frac{\Delta T}{2}; \\ T'_{x,n} &= T_{x,n} + \frac{\Delta T}{2}; & T'_{x,k} &= T_{x,k} + \frac{\Delta T}{2}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $T_{r,n}$ и $T_{r,k}$ — начальная и конечная температуры горячего потока, соответственно, К; $T_{x,n}$ и $T_{x,k}$ — начальная и конечная температуры холодного потока, соответственно, К.

Таким образом, при проектировании теплообменной сети необходимо вести синтез теплообменных связей с обеспечением минимальных относительных потерь $Q_{\text{п}}/Q_{\text{max}}$. Это приведёт к снижению капитальных затрат и обеспечит синтез теплообменной сети с минимальными тепловыми потерями.

Вывод

Решена проблема учёта влияния локализации тепловых потоков на структуру теплообменной сети путём введения в пинч-технологии оптимизационного критерия относительных тепловых потерь. Предложен способ определения этого критерия на основе фундаментальных законов теплообмена. ●

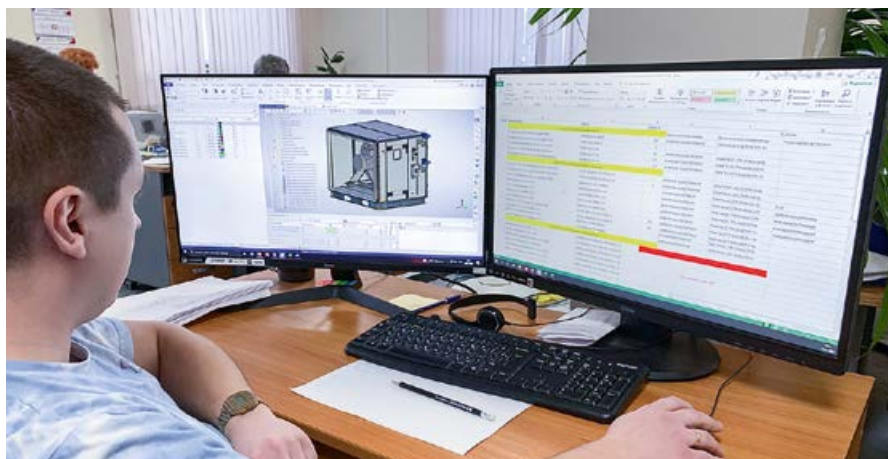
1. Основы интеграции тепловых процессов: монография / Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Товажнянский и др. — Харьков: НТУ «ХПИ», 2000. 458 с.
2. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. — М.: Высшая школа, 1975. 496 с.
3. Картошкин А.П., Агапов Д.С. Ресурсосбережение при проектировании и эксплуатации технологического оборудования энергетических систем: монография. — СПб.: Проспект науки, 2021. 312 с.

References — see page 79.



Долгая история и серьёзные проекты **«ВЕЗА»**

В 2022 году компании **«ВЕЗА»** исполняется 27 лет. Все эти годы деятельность крупнейшего российского производителя систем вентиляции и кондиционирования была ориентирована в первую очередь на отрасль строительства нежилых зданий и производственных объектов. В течение своей четвертьвековой истории **ООО «ВЕЗА»** была и остаётся лидером по выпуску отечественной продукции на вентиляционном рынке РФ.



❖ Фото 1. Инженер Индустриального отдела компании «ВЕЗА» за работой

Сегодня все мы являемся свидетелями постоянного роста объёма рынка вентиляции в России, что обусловлено бурным развитием промышленности в целом. Тут стоит упомянуть и увеличение госзаказов, преимущественно для объектов оборонного комплекса, и оживление строительной отрасли в связи с подготовками объектов и инфраструктуры к Олимпиаде в Сочи в 2014 году, Чемпионата Мира по футболу в 2018-м, а также реализацией крупномасштабных проектов, среди которых Ванкорское и Бованенковское нефтегазовые месторождения, строительство газопровода **«Сила Сибири»**, **«Голубого»** и **«Северного»** потоков, а также новых блоков АЭС.

В компании **«ВЕЗА»** работой с крупномасштабными и инфраструктурными проектами занимается Индустриальный отдел, в штате которого в разные годы состояло от пяти до 20 высококвалифицированных менеджеров и инженеров. За последнее пятилетие отдел вырос до полноценного департамента с штатом более ста человек (фото 1).

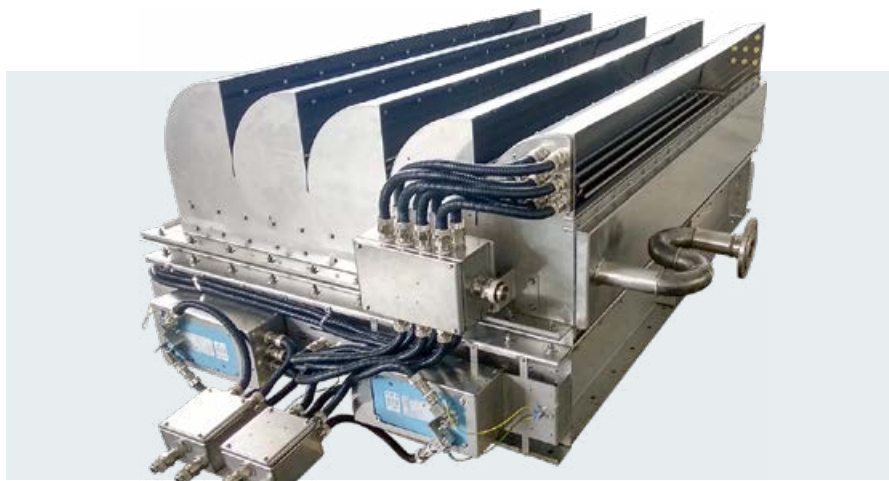
На данный момент в работе у Индустриального департамента **«ВЕЗА»** находятся: Амурские **газохимический комплекс (ГХК)** и **газоперерабатывающий завод (ГПЗ)**, **«Ямал-СПГ»**, **«Арктик-СПГ»**, **«Иркутский полимер»**, **Ярактин-**

ское ГКМ, **Омский НПЗ**, **Нижнекамский нефтехимический завод**, **«Норильский никель»**.

Основной спецификой в работе с такими объектами является широкий перечень технических требований заказчика для вентиляционного оборудования, который может занимать не одну сотню страниц. И количество таких документов по одному объекту может составлять десятки. Применение стандартного оборудования для данных объектов исключено — требуется разработка уникальных технических решений для каждого вида вентоборудования на основе предъявляемых требований. Этими разработками и занимается Индустриальный департамент, с работой которого можно познакомиться читателя, в частности, на примере приточных установок **ВЕРОСА®**, разработанных и поставляемых для нужд **Салмановского нефтегазоконденсатного месторождения** (фото 2). Месторождение находится на территории Тазовского района Ямало-Ненецкого АО на восточном побережье Обской губы. Расчётная температура работы оборудования здесь равна -48°C (абсолютная минимальная температура составляет -55°C), отопительный период — 344 суток, нормативное ветровое давление — 0,6 кПа (например, для Москвы этот показатель не превышает 0,23 кПа).



❖ Фото 2. Приточная камера для Салмановского нефтегазоконденсатного месторождения



❖ Фото 3. Узел входа воздуха в приточную камеру

Прибавим к этому, что поставка оборудования осуществляется по зимникам или авиатранспортом, а до ближайшего объекта (нефтеперерабатывающей станции «Пурпе», связанной дорогами с «Большой землёй») расстояние составляет более 700 км.

Как уже говорилось выше, стандартное оборудование в таких условиях эксплуатироваться не может. Ещё одним немаловажным фактором, влияющим на состав и комплектацию вентиляционной установки, является минимальное количество обслуживающего персонала на объекте эксплуатации, что влечёт за собой требование высокой надёжности всех элементов оборудования, максимальные межсервисные сроки и дублирование узлов (везде, где это возможно), критичных для работоспособности оборудования.

Для компании «ВЕЗА» чем сложнее задача, тем она интереснее. Расскажем про разработки «ВЕЗА», применяемые в приточных установках ВЕРОСА® для объектов на территории Салмановского месторождения:

1. Каркасная конструкция приточной установки (включая раму, углы ригелей, фурнитуру и метизы) изготавливается из нержавеющей стали 12Х18Н10Т либо AISI 316L.
2. Панели выполняются также из нержавеющей стали толщиной не менее 1 мм и заполнены полужёсткой негигроскопичной невоспламеняющейся минеральной ватой.
3. Предусмотрен подогреватель воздуха для обогрева внутреннего объёма камеры в стояночном режиме.
4. На входе в приточную камеру установлены ветрозащитные козырьки, способные справляться с шквалистым ветром, имеющим скорость до 40 м/с (фото 3). Также реализован периметральный обогрев для предотвращения появления наледи на входе в камеру.
5. Установлен специальный блок, разработанный инженерами «ВЕЗА», который препятствует забиванию фильтров установки так называемым «арктическим инеем» (посредством его улавливания и осаднения).

6. В установках применяются клапаны типа КЕДР® с обогревом стыка лопаток и электроприводов (фото 4). Их конструкция состоит из сдвоенных лопаток аэродинамической формы из листового металла толщиной 1,5 мм со сплошной осью, проходящей по всей длине



❖ Фото 4. Клапан типа КЕДР® с обогревом стыка лопаток и электроприводов



❖ Фото 5. Центробежный вентилятор в приточной камере

рабочей зоны. Лопатки клапана приварены к оси для исключения поворота её внутри лопатки. Клапаны комплектуются сверхскоростными специальными электроприводами с инерционностью срабатывания 1 с. В клапанах применяются подшипники из нержавеющей стали, рассчитанные на температуру эксплуатации до -55 °С.

7. Для нагрева воздуха применяются специальные теплообменники собственного производства, состоящие из коллекторов, труб и рамы из нержавеющей стали и алюминиевого или медного оребрения со специальным покрытием. Данные воздухоподогреватели осуществляют подогрев наружного воздуха температурой от -50 до +30 °С одной ступенью.

8. Предусмотрены центробежные вентиляторы с клиноременной передачей, в которых применяются подшипники для тяжёлых условий эксплуатации с возможностью добавления смазки в рабочую зону без разбора корпуса подшипника (фото 5). Данные вентиляционные агрегаты оснащены двигателями с меж-



❖ Фото 6. КИП, расключенный на заводе

сервисным интервалом обслуживания в 40 тыс. часов. Приводы комплектуются высокопрочными ремнями на основе каучука.

9. Все кабели от потребителей (привод клапанов, электродвигатели, концевые выключатели, обогрев клапана и привода) выводятся на клеммные коробки (фото 6). Все электрические расключения и установка датчиков производятся на заводе-изготовителе «ВЕЗА».

Перечисление всех особенностей приточных установок для Салмановского месторождения займёт не одну страницу текста. Основное же внимание хочется уделить тому факту, что применение всего комплекса технических решений, разработанного специалистами Индустриального департамента компании ООО «ВЕЗА», позволяет гарантировать работоспособность установок на данном объекте в течение 25 лет. ●

VRF или чиллер? Сравнительный анализ современ- ных фреоновых и водяных систем кондициониро- вания воздуха. Часть 2*

Продолжаем публиковать статью, в которой приводится сравнительный анализ фреоновых и водяных систем кондиционирования воздуха. Сегодня мы представляем читателям вторую часть материала.

Автор: С.В. БРУХ, технический редактор журнала СОЖ

* Продолжение. Начало см. журнал СОЖ №01/2022 (11).

Надёжность функционирования

Надёжность — это свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования [2].

Параметр 1. Количество элементов в системе

Сравнивая системы VRF и системы «чиллер-фанкойл», можно признать эти системы достаточно надёжными (естественно, при грамотном проектировании, монтаже и эксплуатации), поскольку я видел множество как систем VRF, так и систем «чиллер-фанкойлы», которые эксплуатируются 20 лет и более. С другой стороны, отличия всё-таки существуют, и мы попытаемся максимально их раскрыть.

Итак, от чего зависит надёжность любого технического устройства? От безотказной работы всех его элементов. Чем большее количество элементов входит в устройство, тем меньше его потенциальная надёжность с точки зрения теории вероятностей, поскольку отказ даже одного элемента приведёт к отказу всей системы. Поэтому вернёмся к нашим объектам сравнения и попытаемся понять, из каких элементов и систем состоят наши системы кондиционирования (табл. 1).

Что у наших систем одинаково, так это фреоновый холодильный контур. Компрессор, конденсатор, терморегулирующий вентиль (ТРВ), испаритель и фреонопроводы — это обязательная часть любой пароконденсационной холодильной машины. Пока оставим в стороне надёжность каждого элемента системы и рассмотрим вопрос только с точки зрения количества.

Так вот, именно холодильный контур у систем VRF и чиллерных систем похож. Отличия заключаются в способе доставки холода потребителям.

VRF использует для этого тот же хладагент, а чиллерные системы охлаждают воду или водные растворы и подают их

Какая система центрального кондиционирования больше подходит для конкретного объекта? Система VRF или система «чиллер-фанкойл»? Можно провести сравнительный анализ и понять, на чьей стороне преимущество

потребителю. И для циркуляции этого холодоносителя нужна совершенно другая, по сути, параллельная система с насосами, трубопроводами, средствами защиты, управления и т.д. И очевидно, что если ломается, например, насос (вопрос резервирования рассмотрим ниже), то чиллер просто «встанет», а в системе VRF этого насоса нет.

Поэтому с точки зрения количества потенциально возможных поломок сделаем **первый вывод**: за счёт большего количества элементов вероятность возникновения поломки в системе «чиллер-фанкойлы» выше, чем в системе VRF.

Дотошные читатели после этого вывода могут предъявить следующий контраргумент: «Постойте, но на объекте, как правило, один чиллер, у которого один, два или три компрессора. А наружных блоков VRF в несколько раз больше, например, десять. В каждом наружном блоке — один или два компрессора, следовательно, всего на объекте 10–20 компрессоров, что во много раз больше, чем у чиллера. Так как количество компрессоров у VRF больше, следовательно, и надёжность всего объекта ниже».

Давайте посмотрим внимательно на модульную конструкцию VRF-систем и подумаем, от надёжности каких элементов зависит создание комфортного режима в любом кондиционируемом помещении? Внутренний блок, трубопроводы, наружный блок, система энергоснабжения. Допустим, вышел из строя наружный блок, который обслуживает другой этаж объекта. Останётся ли при этом работа внутреннего блока в рассматриваемом помещении?

❖ Основные элементы системы холодоснабжения

табл. 1

Элементы системы	VRF	Чиллер-фанкойл
Компрессор	Да	Да
Конденсатор	Да	Да
Терморегулирующий вентиль (ТРВ)	Да	Да
Испаритель	Да	Да
Фреонопроводы	Да	Да
Система управления	Да	Да
Теплообменник «вода-фреон»	Нет	Да
Насос	Нет	Да
Расширительные баки	Нет	Да



Нет, так как конструкция VRF модульная и не связана с другими блоками. Следовательно, если мы рассматриваем надёжность работы оборудования в каком-либо конкретном помещении, то в случае систем VRF становится неважно, сколько при этом рядом наружных блоков, один или тысяча. Надёжность функционирования VRF-системы конкретно в этом помещении никак с другими элементами системы не связана.

Параметр 2. Надёжность элементов системы

Следующий вопрос, который влияет на общую надёжность системы, — это надёжность её элементов, которая, естественно, может быть разной. Теплообменники, фреонопроводы, система управления — все эти элементы практически идентичны, и выделить более качественный вариант сложно, тем более у одного производителя. Но главный элемент системы охлаждения, её в полном смысле этого слова «сердце» — это компрессор. А вот компрессоры в чиллерных системах и в системах VRF сильно отличаются.

99% компрессоров в системах VRF — это DC-инверторные компрессоры. А преимущества инвертора очевидны: плавная регулировка производительности, отсутствие пусковых токов, надёжность. В случае же чиллерных систем 90% применяемых компрессоров это On-Off. Конечно, существуют чиллеры с инверторными компрессорами, в том числе и у рассматриваемой компании М, но их применение пока крайне небольшое.

Поэтому можно сделать следующий вывод: за счёт применения инверторных компрессоров в системах VRF, и On-Off компрессоров в большинстве чиллерных систем надёжность компрессорного узла в системах VRF выше.

Главный элемент любой системы охлаждения — это компрессор. 99% компрессоров в системах VRF — это DC-инверторные агрегаты. В случае же чиллерных систем 90% применяемых компрессоров это ON-OFF



Параметр 3. Защиты от ошибок проектирования, монтажа и эксплуатации

Я никогда не забуду свой первый «убитый» чиллер (к счастью, он был и последний). Я понадеялся на профессионализм монтажной компании, которая не в первый раз монтировала чиллерные системы. Монтажная компания понадеялась на благоразумие заказчика, который тоже не первый год занимался эксплуатацией чиллерных систем.

В результате компрессор на моём первом проданном чиллере сгорел через день. После расследования выяснилось, что расход холодоносителя на водяном теплообменнике был недостаточный (не был установлен датчик расхода воды), расход фреона также упал, и компрессор сгорел по причине перегрева.

Я рассказал эту историю, так как хотел показать разницу между защитами систем VRF и чиллерных систем. В VRF-системе эта история была бы в принципе невозможна, поскольку существуют многочисленные защиты по давлению фреона и от перегрева компрессора. В чиллерах тоже есть защита от перегрева компрессора, но в моем случае она почему-то не сработала. В системах VRF предусмотрено до 150 различных параметров защиты. В чиллерных системах эта цифра в разы меньше, поэтому «убить» чиллер неправильным монтажом или эксплуатацией значительно проще.

Итого вывод: за счёт применения многочисленных защит надёжность безаварийной эксплуатации VRF-систем оказывается выше.

Параметр 4. Скорость ремонта и замены оборудования

В контексте скорости замены оборудования необходимо наши системы разделить на две части — это внутренние блоки и источники холода.

Внутренние блоки. Для чиллерных систем используются внутренние блоки на воде — фанкойлы. При их ремонте или замене необходимо отключить подающую и обратную линии холодоносителя с помощью обычных запорных клапанов и всё. Общая система при этом никак не страдает, замену и ремонт фанкойла можно провести максимум за два часа.

В случае ремонта внутреннего блока системы VRF процесс несколько сложнее. Необходимо отключить всю систему с единым холодильным контуром, а это, как правило, 10–20 внутренних блоков. Включить режим сбора хладагента в наружный блок, затем отключить и поменять внутренний блок.

Желательно опрессовать систему и проверить её на герметичность как минимум сутки (вакуумировать систему, запустить хладагент в контур и т.д.). Процесс замены внутреннего блока VRF обычно приводит к остановке участка на двое суток. Можно каждый внутренний блок установить с запорными вентилями и клапаном Шредера для локального вакуумирования, но обычно так никто не делает.

Источники холода. Несколько иная картина наблюдается при ремонте чиллера или наружного блока VRF.

VRF по логике построения — это модульная техника с максимально унифицированными элементами. Например, платы управления на наружных блоках одинаковы, независимо от типоразмера «наружки». Двигатели вентиляторов, датчики, даже компрессоры одинаковы. Более того, многие разные по производительности наружные блоки отличаются только настройками на плате управления, а элементы наружного блока полностью идентичны. Поэтому найти нужный элемент для наружного блока можно быстро, обычно он есть на центральном складе. Отсюда срок поставки в любую точку России составляет максимум две недели.

Чиллеры, в свою очередь, все уникальны. Никто не держит на складе запчасти для чиллера, поскольку их очень много и это не имеет смысла. Поставка любой запчасти — это примерно четыре месяца, за редким исключением.

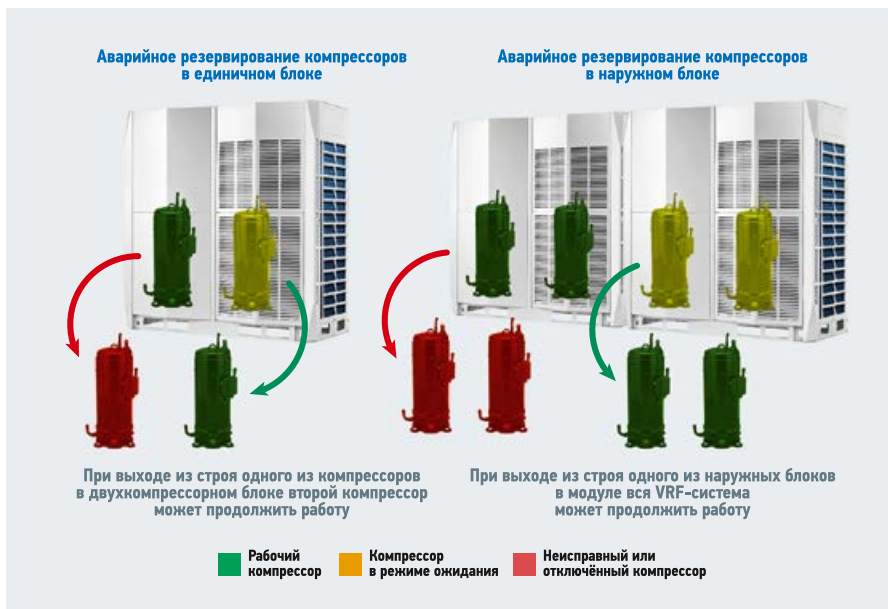
Итак, в связи с модульностью конструкции и унификацией элементов время поставки запчастей для VRF-систем значительно меньше, чем для чиллерных систем. Однако скорость замены фанкойлов выше, чем внутренних блоков VRF.

Параметр 5. Резервирование

Согласно пункту 9.4 СП 60.13330.2016 [3], «резервные холодильные машины следует предусматривать для систем кондиционирования, работающих круглосуточно, или по заданию на проектирование».

То есть «классические» системы комфортного кондиционирования, к которым относятся рассматриваемые нами варианты, резервирования не требуют. Тем не менее, рассмотрим этот вопрос.

Чиллерные системы могут быть установлены с резервным оборудованием достаточно легко. Если ещё вспомнить время поставки запчастей, то для нормального функционирования объекта просто необходимо иметь как минимум два рабочих чиллера на 100% нагрузки и один резервный. Это удорожает всю схему, но обеспечивает непрерывность холодоснабжения объекта.



❖❖ Рис. 1. Возможность резервирования при использовании комбинаторных наружных блоков VRF

VRF-системы теоретически также могут быть установлены по аналогичной схеме: два основных наружных блока плюс один резервный в каждом холодильном контуре. Но на практике это оказывается бессмысленно, так как, во-первых, вероятность выхода из строя наружного блока крайне низка. Во-вторых, проще держать один запасной наружный блок не в каждом холодильном контуре, а на всём объекте, а это уже намного дешевле. В-третьих, ещё проще быстро привезти требуемую деталь, а не «морозить» стоимость целого наружного блока из-за одной платы или одного компрессора.

Чиллерные системы могут быть установлены с резервным оборудованием достаточно легко. Если ещё вспомнить время поставки запчастей, то для нормального функционирования объекта просто необходимо иметь как минимум два рабочих чиллера на 100% нагрузки и один резервный. Это удорожает всю схему, но обеспечивает непрерывность холодоснабжения объекта

У меня был подобный опыт в период работы в службе эксплуатации. Мы смонтировали около 40 наружных блоков VRF на одном объекте и один наружный блок купили в качестве запасного. Пять лет объект эксплуатировался идеально, и ни разу не потребовались срочно запчасти с нашего блока, купленного, как сейчас говорят, для «каннибализма». В итоге понадобилось расширить систему, и этот блок просто ушёл работать на новую группу помещений в качестве основного.

Вывод: для надёжной и безаварийной работы чиллерных систем часто требуется резервирование холодильной мощности; в случае VRF-систем резервирование также возможно, но, как правило, оно бессмысленно из-за возможности быстрой поставки запчастей и ремонта (рис. 1).

Параметр 6. Фатальность выхода из строя

Я помню случай, когда для кондиционирования всего объекта был применён один очень современный чиллер, с центробежным компрессором на магнитной подвеске. Я не знаю, кто там в итоге был виноват (монтажная организация или эксплуатирующая), но компрессор очень быстро встал (а точнее, «лёг»), и весь объект, соответственно, встал тоже. Потому что сама схема чиллерных систем предполагает централизацию всего объекта на один источник холода. Чтобы подобных ситуаций не происходило, необходимо применять резервирование.

В случае поломки в системах VRF происходит отключение только одного локального участка. Весь остальной объект продолжает успешно функционировать.

Вывод №7: VRF-системы кондиционирования, как правило, более надёжны в эксплуатации по следующим причинам:

1. Меньшее количество дополнительных элементов системы, которые могут выйти из строя (водяной контур отсутствует, имеется только холодильный).
2. Применение инверторных компрессоров, обладающих меньшими пусковыми токами и большим сроком эксплуатации.
3. Наличие многочисленных защит компрессора и системы в целом.
4. Унификация элементов и быстрая поставка запчастей.
5. При выходе из строя одного наружного блока VRF встаёт только часть объекта.

Конструктивно-компоновочные критерии Габаритные размеры внутренних блоков (фанкойлов)

В предыдущем сравнении [1] мы получили большие габариты фанкойлов одинаковой производительности, чем внутренних блоков систем VRF. Это объяснялось разными температурами теплообмениваемых сред. Внутренние блоки VRF имели температуру кипения хладагента около +5°C, а фанкойлы — среднюю температуру охлаждающей воды +10°C, что должно было приводить к увеличенной поверхности теплообмена фанкойлов и их большим габаритам.

Однако сегодня мы видим в табл. 2–5 практически одинаковые габаритные размеры и вес одинаковых по мощности блоков. Это, по-видимому, можно объяснить повышенным расходом воздуха на фанкойлах с целью обеспечить съём большей производительности с одинаковой площади теплообмена.

Это, в свою очередь, приводит к большему уровню шума фанкойлов, но про это мы уже писали в первой части статьи.

Вывод №8: Габаритные размеры и вес внутренних блоков VRF и фанкойлов примерно одинаковы.

Габаритные размеры источников холода (наружных блоков VRF и чиллеров)

Я не был удивлён, когда в результате расчётов получился объём одного чиллера больше, чем объём наружного блока VRF той же мощности. Но мне казалось, что, когда один большой чиллер будет сравниваться с несколькими блоками VRF, разница будет не так очевидна.

Но по факту ничего не поменялось. За счёт гидравлического модуля занимаемый объём и масса оборудования чиллерных источников холода в 1,5–3 раза больше, чем наружные блоки систем VRF. Причём, если мы рассмотрим чиллеры с водяным охлаждением конденсатора, разница будет ещё более разительна.

Вывод №9: Масса и объём оборудования чиллерных систем всегда больше, чем масса и объём наружных блоков систем VRF той же производительности по холоду.

Габаритные размеры соединительных трубопроводов

Чтобы доставить холод от источника холода (чиллер или наружный блок VRF) к приёмникам холода (фанкойл или внутренний блок VRF), используют трубопроводы. В случае с чиллером по трубопроводам движется вода или водные незамерзающие растворы. В случае с VRF трубопроводы служат для перемещения хладагента (сегодня это фреон R410a, но в будущем это может быть R32 или какой-либо другой хладагент).

В чём принципиальное отличие охлаждения с помощью воды либо фреона? Дело в том, что вода использует для охлаждения свою теплоёмкость, то есть способность забирать тепловую энергию и повышать при этом свою температуру. Фазовое состояние при этом не меняется. Вода поступает в фанкойл с температурой +7°C и выходит из него с температурой +12°C. Следовательно, удельная теплоёмкость, помноженная на «дельту» в 5°C, и есть наш потенциал для воды, то есть 21 кДж/кг. Фреон же использует теплоту фазового перехода (скрытую теплоту парообразования). Энергетически это более выгодный процесс, так как процесс кипения фреона потребляет много тепловой энергии, с другой стороны — температура кипения не меняется. Энергоёмкость фреона R410a (теплота парообразования) при +5°C составляет 216 кДж/кг, что примерно в десять раз больше, чем у воды в наших условиях. Следовательно, трубопроводы для систем VRF намного компактнее, чем трубопроводы для систем «чиллер-фанкойлы».

Сравнительные характеристики различных энергоносителей представлены в табл. 5.

Вывод №10: Объёмная энергоёмкость фреона в десять раз больше объёмной энергоёмкости воды. Благодаря использованию в VRF-системах фреона как энергоносителя размеры соединительных фреонпроводов в несколько раз меньше, чем размеры трубопроводов систем «чиллер-фанкойлы». ●

● Кассетные внутренние блоки VRF-системы и фанкойлы производителя M табл. 2

Модели внутренних блоков VRF / фанкойлов	MDI2-28Q4 / MDK0-300R	MDI2-71Q4 / MDKA-750R	MDI2-112Q4 / MDKA-1500R
Мощность охлаждения, кВт	2,8/3,0	7,1/7,0	11,2/12,9
Расход воздуха, м³/ч	576/510	977/1250	1641/2550
Уровень шума (звукового давления), дБ(А)	35/39	35/46	38/50
Габариты (в×ш×г), мм	570×570×260 / 575×575×261	840×840×230 / 840×840×230	840×840×300 / 840×840×300
Масса, кг	18/16,5	23,2/25	28,4/32

● Наружные блоки VRF-систем разной производительности табл. 3

Модели	MDV-V48W/DHN1 (At)	MDV6-615WV2GN1	Три блока MDV6-900WV2GN1
Мощность охлаждения, кВт	14	61	90×3=270
Габариты (в×ш×г), мм	950×840×440	1340×1635×825	1730×1830×850×3
Объём, м³	0,35	1,81	2,69×3=8,07
Масса, кг	75	348	475×3=1425

● Чиллеры с воздушным охлаждением конденсатора и гидромодулем (без воды) табл. 4

Модели	MDGC-V16WD2RN8-B	MDC-SS65/RN1L + HC F11.2/P21.5 (60-65)	MD6BL-F250W/RN1 + HC F46.4/P24.0 D (195-270)
Мощность охлаждения, кВт	14	65	250
Габариты (в×ш×г), мм	865×1040×410	2000×1770×960 + 2000×370×1100	3800×2130×2000 + 3400×1000×1400
Объём, м³	0,37	3,40 + 0,81 = 4,21	16,19 + 4,76 = 20,92
Масса, кг	120	530 + 230 = 760	2450 + 700 = 3150

● Сравнительные характеристики различных энергоносителей табл. 5

Система кондиционирования	«Чиллер-фанкойлы»		VRF
Хладоноситель	Вода	40% раствор этиленгликоля	Фреон R410a
Теплоёмкость, кДж/(кг·°C)	4,19	3,82	—
Энергоёмкость, кДж/кг	21	19	216
Плотность, кг/м³	1000	1032	1155 (ж) / 35 (г)
Объёмная энергоёмкость (жидкость), кДж/м³	21 000	19 716	249 480
Диаметры трубопровода для холодильной нагрузки 65 кВт (подача / «обратка»), мм	65 / 65	75 / 75	19,05 / 31,75

1. Брух С.В. VRF или чиллер? Сравнительный анализ фреоновых и водяных систем кондиционирования воздуха. Часть 1 // Журнал СОК. 2022. №1. С. 62–69.
 2. ГОСТ 27.002–2015. Надёжность в технике. Термины и определения / Дата введ.: 01.03.2017.
 3. СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализ. ред. СНиП 41-01-2003 (с Изм. №1) / Дата введ.: 17.06.2017.

Погодные риски в энергосистемах с возобновляемыми источниками энергии

В 2021 году появились новые прецеденты влияния погодных условий на функционирование энергетических систем в США и Европе. Энергетический рынок всегда активно реагирует на погодные аномалии: в случае похолодания или аномальной жары неизбежны веерные отключения электричества и резкие колебания цен на энергоносители [1].

Автор: М.Ю. БЕРЕЗКИН; К.С. ДЕГТЯРЁВ;
О.А. СИНЮГИН, Географический факультет
МГУ им. М.В. Ломоносова

Введение

В феврале 2021 года снежные бури и сильный мороз в США вывели из строя почти половину ветрогенераторов штата Техас, что привело к масштабному энергетическому кризису. Солнечные электростанции также на несколько дней резко сократили генерацию. Угольные электростанции и АЭС показали себя достаточно надёжно, но их выработка оказалась недостаточной для подобной экстремальной ситуации. Дефицит электроэнергии начали восполнять электростанции, работающие на природном газе, однако роста потребления электроэнергии превзошёл все имеющиеся резервы [2].

Техасский кризис превзошёл по масштабам сходный калифорнийский кризис предыдущего 2020 года, когда во время рекордной жары ветряные и солнечные электростанции не смогли справиться с возросшим спросом на электроэнергию, и система энергоснабжения штата Калифорния оказалась на грани коллапса [3].

Сейчас в Европе с высокими ценами на энергию переживают зиму 2021/2022. Контракты на электроэнергию осенью 2021 года поднимались до беспрецедентно высокого уровня из-за ограниченных поставок газа и угля, а также низкой выработки ветроэнергетики на фоне слабых ветров [4–6]. Цены на электроэнергию в странах Европейского союза только за третий квартал 2021 года выросли примерно в два раза, в том числе в Германии и Франции (крупнейших экономиках ЕС) с €73–74 до €140–170 за 1 МВт·ч (рис. 1).

По мере выхода экономики Европы из коронавирусного кризиса регионы ЕС столкнулись с резким скачком цен на энергоносители, что явилось неизбежным результатом роста спроса при одновременном сокращении предложения.

Техасский энергетический кризис февраля 2021 года превзошёл по масштабам сходный калифорнийский 2020 года, когда во время рекордной жары ветряные и солнечные электростанции не смогли справиться с возросшим спросом на электроэнергию. А в Европе столкнулись с резким скачком цен на энергоносители, что явилось неизбежным результатом роста спроса при одновременном сокращении предложения

Увы, данный основополагающий закон рыночной экономики безотказно срабатывает и особенно явно проявляет себя при аномальных погодных ситуациях.

Во многих странах, включая Великобританию, Францию и Испанию, правительства поспешили принять чрезвычайные меры для защиты потребителей, включая ограничение тарифов и прямое дотирование спроса домохозяйств на электрическую энергию.

Энергетический кризис в Техасе

Кризис электроснабжения в Техасе в феврале 2021 года оказался важным прецедентом. После наступления рекордных холодов в Техасе 14 февраля спрос на электроэнергию начал расти, а предложение стало падать из-за остановившихся ветровых турбин и перебоев в поставках природного газа по трубопроводам. Это привело к широкомасштабным веерным отключениям электричества на следующий же день — 15 февраля. Последующие «волны холода» и расхождение баланса спроса и предложения ухудшили ситуацию, так что 5 млн потребителей в Техасе

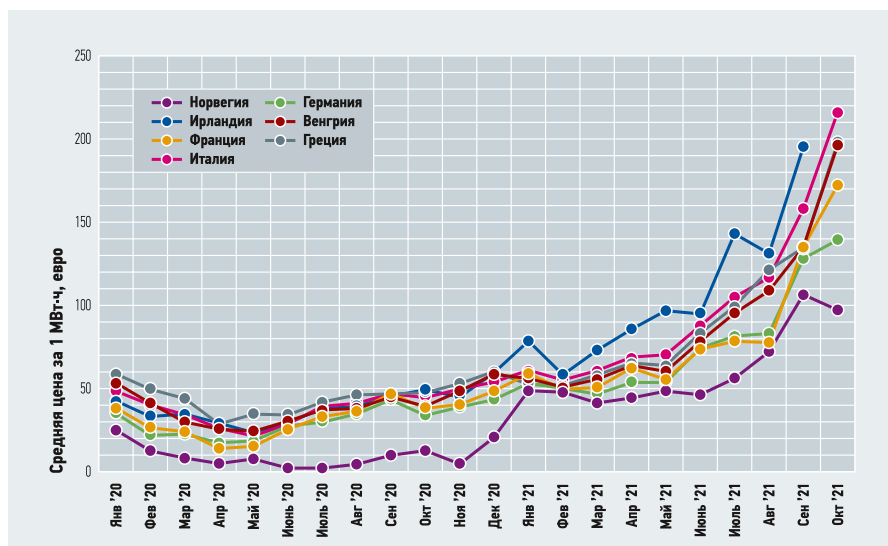


Рис. 1. Динамика оптовых цен на электроэнергию в странах ЕС за 2020–2021 годы [7]



Фото: The Guardian, theguardian.com

(27%) временно остались без электричества со снижением на 16,3 ГВт пиковой мощности в энергосистеме штата. Генерирующие мощности в размере 46 ГВт были отключены от сети уже 17 февраля, включая 28 ГВт генерации на ископаемом топливе и 18 ГВт солнечных и ветровых источников. Изменение баланса спроса и предложения повысило оптовые рыночные цены выше \$9 за 1 кВт·ч.

С ослаблением холодов ситуация стала выправляться. [Совет по надёжности электроснабжения Техаса \(Electric Reliability Council of Texas, ERCOT\)](#) — регулятор, контролирующий более 90% сетей штата, — 19 февраля объявил о восстановлении нормального электроснабжения. Значительные перебои поставок электроэнергии потребителям, отключения генерирующих мощностей в системе и взлёт цен оказались реальностью, как элементы энергетического кризиса, случившегося в значительной части США. Кризис затронул всех потребителей и все сектора экономики штата и имел значительные социально-экономические последствия для Техаса, но также явился уроком для всего человечества в мировом масштабе.

Случившееся в Техасе вызвало активную дискуссию о причинах энергетического кризиса. Официальные отчёты указывают на сильную зависимость энергосистемы штата от основных источников энергии — ветровых турбин и природного газа. Первые просто замёрзли, а трубопроводные поставки второго оказались недостаточными. Вновь возник аргумент о нестабильности и ненадёжности возобновляемых источников энергии, в то время как на них делается главная ставка при достижении цели «нулевых выбросов» в электроэнергетике США к 2035 году и общей углеродной нейтральности экономики страны к 2050 году.



Фото: Austin American-Statesman, statesman.com

Генерация электричества за счёт сжигания природного газа является наиболее значительным компонентом электроэнергетики Техаса, и она снизилась при наступлении волн холода, причём газ в основном поставлялся для отопления домов. Перебои в поставках электроэнергии были вызваны прежде всего зависимостью от специфических источников энергии.

Также мало внимания уделялось мерам против волн холода на всех объектах генерации штата. Фактически из-за этих погодных явлений снизились поставки не только с ветровых и газовых электрогенераторов, но и с угольных и атомных электростанций, но наибольший эффект наблюдался именно на ветровых и газовых станциях.

Среди ядерных энергоблоков блок №1 АЭС South Texas был остановлен 15 февраля из-за выхода из строя внешних измерительных приборов. После проверки и ремонта он был включён 17 февраля и начал нормально функционировать

лишь 19 февраля. Три другие атомные электростанции в Техасе (Allens Creek, Comanche Peak и Victoria County Station) работали штатно. Таким образом, меры защиты от волн холода являются необходимым компонентом стабильной электрогенерации для всех источников энергии.

Техас не внедрил соответствующие меры по противодействию волнам холода, хотя ещё в феврале 2011 года, когда также произошли веерные отключения (они составили 4 ГВт мощности), американская [Федеральная регулирующая комиссия по энергетике \(FERC\)](#) заявила о недостаточной готовности предприятий ветро- и газогенерации штата к волнам холода. После полноценного энергетического кризиса в феврале 2021 года наверняка будут

предприняты серьёзные контролируемые меры. Также федеральное и местное законодательство не обязывает операторов энергосети Техаса поддерживать резервный запас электричества, и это стало ещё одной проблемой, так как штату не удалось докупить недостающую электроэнергию у соседей.

Предлагаются следующие меры, которые позволят избежать подобных коллапсов энергосети в будущем [3]:

- утепление энергогенерирующего оборудования;
- обязывание операторов электрической сети поддерживать резервный запас электричества;
- модернизация внутренних и внешних коммуникаций электрической сети Техаса;
- увеличение мощностей солнечных электростанций;
- создание мощностей по хранению вырабатываемой электроэнергии;
- увеличение мощностей газовых электростанций.

Необходимые и достаточные меры против воздействия холода — это самая неотложная задача для энергетического сектора штата Техас. Из этого кризиса можно извлечь несколько уроков в области безопасности снабжения электроэнергией. Во-первых, важным пунктом является поддержание достаточной мощности в сети, включая наличие резервной мощности, которая должна быть в состоянии реагировать на изменения спроса.

С другой стороны, также исключительно важны меры по регулированию и управлению спросом на электроэнергию. В общем, цель состоит в поддержании оптимального баланса спроса и предложения. В конкурентных рыночных условиях, при наличии постоянной необходимости снижения издержек, весьма непросто поддерживать достаточную основную и резервную мощность. Задача усложняется при распространении использования возобновляемых источников энергии, которые в настоящее время уже снижают оптовые цены [8]. Для создания резервных мощностей требуются дополнительные издержки, но, судя по всему, это неизбежно, поскольку значительно увеличивает надёжность энергосистемы штата.

При энергетическом кризисе в Техасе отключения и спады мощности были вызваны ограничением в том числе в поставках газа на газогенерирующие электростанции как основной источник электричества. Это вызвало снижение генерации электроэнергии при наличии установленной мощности. Погодные условия могут стать главным лимитирующим фактором в цепочках поставок природного газа, как топлива для электростанций.

Таким образом, выявляется ключевая роль гибкости и надёжности цепочек поставок в энергетическом секторе. Диверсификация поставщиков топлива также имеет важное значение. Данные меры требуют дополнительных инвестиций и приводят к увеличению операционных издержек, но страховка от кризиса требует их реализации. Особая задача состоит в оптимизации энергетического баланса по структуре (долям) различных энергетических источников.

Основными особенностями энергетического кризиса в Техасе 2021 года являются снижение поставок топлива (природный газ) для электростанций, падение генерации на возобновляемых источниках энергии (прежде всего, ВЭС), вызванное волной холода, сопровождаемое техническими проблемами на угольных и атомных электростанциях, недостаточные по мощности линии электро-



Фото: David J. Phillip / AP, CNN, edition.cnn.com

передач с соседними штатами США, вынужденные меры по регулированию/ограничению спроса на электроэнергию со стороны потребителей.

В феврале 2021 года цена электроэнергии в Техасе на фоне энергетического кризиса поднялась до предельно допустимых \$9000 за 1 МВт·ч. После этих событий регулятор [ERCOT](#) опустил предельно допустимую оптовую цену электроэнергии до \$2000 за 1 МВт·ч.

Во время техасского энергетического кризиса отключения и спады мощности были вызваны ограничением в поставках газа на газовые электростанции как основной источник электричества

Внештатная ситуация повторилась 13 апреля 2021 года. Из-за крайне неудачного стечения обстоятельств оптовая цена электроэнергии в некоторых частях Техаса взлетела в 100 раз до \$2012 за 1 МВт·ч (более 140 руб. за 1 кВт·ч при курсе 70 руб. за \$1), через четыре часа цены опустились до \$222 за 1 МВт·ч. Дело в том, что около четверти электростанций штата находились на техобслуживании, как плановом, так и вынужденном после февральских морозов, а ожидавшееся в середине апреля потепление не привело к падению потребления электроэнергии, так как в районе городов Сан-Антонио и Хьюстон задержалась холодная погода. Дополнительно к этому регулятор [ERCOT](#) некорректно спрогнозировал объём генерации электричества на солнечных и ветровых электростанциях. В итоге спрос на электроэнергию в штате вопреки прогнозам остался высоким, холодная погода привела к росту потребления, а предложение снизилось. В результате этих событий [ERCOT](#) призвала жителей Техаса к экономии электроэнергии.

Погодные аномалии в Европе

С погодными проблемами столкнулись и в Германии. В конце января 2021 года большую часть страны накрыли снегопады, которые засыпали солнечные панели (их установленная мощность в стране составляет 54 ГВт), а безветренная погода «убрала» из сети до 70% от 62 ГВт установленной мощности ветрогенераторов. Из-за этого доля «зелёной» электроэнергии в общем объёме генерации в Германии опустилась до 0–3% [9, 10].

В начале осени 2021 года на северо-западе Европы воздух был неподвижен, что уменьшило выработку ветровой энергии. Например, в Германии в течение первых двух недель сентября 2021 года выработка электроэнергии ветром была на 50% ниже среднего показателя за пять лет [11]. Усиление ветра 5 октября 2021 года привело к тому, что почасовые цены на электроэнергию упали ниже нуля по всей Европе, демонстрируя, что возобновляемая генерация также может иметь «право голоса» в установлении зимних цен на электричество. Почасовая цена колебалась от €2 до €153 в тот же день, в зависимости от скорости ветра в регионе.

В сентябре 2021 года цены на электроэнергию на немецком рынке «на сутки вперёд» в среднем были самыми высокими по крайней мере за 20 лет, контракт на ноябрь торговался на уровне €217 за 1 МВт·ч. Резкий рост цен на газ, уголь и квоты на выбросы углерода привели к удорожанию производства электроэнергии в национальном парке электростанций, работающих на ископаемом топливе. Цены на квоты на выброс углерода достигали €60 за тонну CO₂.

Высокие цены на энергоносители также оказывают более масштабное воздействие на экономику. Европейский центральный банк (ЕЦБ) прогнозирует инфляцию на 2022 год на уровне 3,2%, причём две трети этого прироста приходится на скачок цен на энергоносители [12].

В начале 2022 года Франция приостановила около трети своих ядерных мощностей. Обычно страна экспортирует электроэнергию в пиковые периоды, но теперь ей придётся импортировать её, что приведёт к повсеместному росту цен. Кроме того, пандемия COVID-19 нарушила процесс техобслуживания. Если экспорт российского газа останется на сегодняшнем уровне, в конце марта европейские хранилища будут заполнены менее чем на 15% — самый низкий показатель за всю историю наблюдений, и это при условии нормальных погодных условий. Почти весь сжиженный природный газ (СПГ) идёт в Азию, поэтому европейским покупателям почти ничего не достаётся. В 2021 году импорт газа в Европу был на 20% ниже, чем в 2020-м. Добыча газа также сократилась в Британии и Нидерландах.

Выводы

1. В случае похолодания или аномальной жары веерные отключения электричества и резкие ценовые колебания являются неизбежными.
2. Погодные условия могут стать главным лимитирующим фактором в цепочках поставок природного газа, как топлива для электростанций.
3. Выявлена ключевая роль гибкости и надёжности цепочек поставок в энергетическом секторе, а также диверсификации поставщиков топлива. Всё это требует дополнительных инвестиций и приводит к увеличению операционных издержек.
4. Особая задача состоит в оптимизации энергетического баланса по структуре (долям) различных энергетических источников.
5. Электрогенерация на возобновляемых источниках энергии напрямую зависит от погодных условий и может служить фактором неустойчивости в энергосистемах с высокой долей ВИЭ.
6. Необходимо создание мощностей, аккумулирующих вырабатываемую в энергосистемах электроэнергию.
7. Природный газ — премиальное топливо при энергетическом переходе, который планируется осуществить в мире за 2020–2050 годы. ●

1. World Energy Outlook 2021. International Energy Agency. Paris, France. 2021. 383 p.
2. Durden T. Cascend: "Data shows wind-power was chief culprit of Texas grid collapse". ClimateScienceNews. Web-source: climatesciencenews.com. Access data: January 11, 2022.
3. Louise N. Cascend: "Wind power was the biggest failure this week in the Texas grid catastrophe and natural gas was the best option". Tech Startups. Web-source: techstartups.com. Access data: January 12, 2022.
4. Schnabel I. Looking through higher energy prices? Monetary policy and the green transition. European Central Bank. Web-source: worldnewsera.com. Access data: January 12, 2022.
5. Horowitz Ju. Europe is paying record prices for energy. A winter crisis looms. CNN Business. Web-source: edition.cnn.com. Access data: January 15, 2022.
6. Paulsson L. What's behind Europe's skyrocketing energy prices. Bloomberg Green. Web-source: bloomberg.com. Access data: January 15, 2022.
7. Average monthly electricity wholesale prices in selected countries in the European Union (EU) from January 2020 to October 2021. Statista. Web-source: statista.com. Access data: January 15, 2022.
8. Дегтярёв К.С., Берёзкин М.Ю., Синюгин О.А. К вопросу об использовании возобновляемых ресурсов в объединённой и автономных энергосистемах востока России // Журнал СОК, 2018. №5. С. 23–28.
9. Homewood P. Germany desperate for coal power, as wind & solar power fail. Not A Lot Of People Know That. Web-source: notalotofpeopleknowthat.wordpress.com. Access data: January 16, 2022.
10. Durden T. Winter storm threatens Germany's power... Freezing hell threatens if already rickety grid collapses! LewRockwell. Web-source: lewrockwell.com. Access data: January 10, 2022.
11. Eckert V. Renewable energy's share of German power usage falls on lower wind output. Reuters. Web-source: reuters.com. Access data: January 10, 2022.
12. US Energy Information Administration (2021). Analysis & Projections. Web-source: eia.gov. Access data: January 10, 2022.



Фантастическая тройка

приборов для настройки
и диагностики систем отопления
и тепловых насосов

- Смарт измерения
- Турбо анализ
- Лёгкое документирование



Энерго- эффективность «умного дома» как главная составляющая комфорта владельца

Как известно, под «умным домом» понимается в том числе комплекс решений и мероприятий, позволяющих при минимальном участии владельца поддерживать требуемые (допустимые или оптимальные) параметры воздуха, освещённость в отдельных комнатах и в доме в целом, в любое время суток и года...

Концепция «умного дома» (smart house) кардинально изменила взгляды на принципы организации быта в современной квартире или коттедже. Технический прогресс позволил создать единый цифровой комплекс управления освещением и климатом, водо-, газо- и электроснабжением, системами видеонаблюдения и контроля доступа, охранно-пожарной сигнализацией, домашним кинотеатром и мультимедийной системой, предназначенной для распределения аудио- и видеосигналов в помещении или за его пределами (мультирум).

Современные системы «умного дома» позволяют снизить потребление тепловой и электрической энергии, исключить утечку воды и газа из соответствующих систем отопления, водоснабжения и газовых коммуникаций, значительно повысить безопасность жильцов — например, обнаружить непредвиденное вторжение посторонних лиц на территорию участка или непосредственно в дом.

Естественно, такие системы управления и контроля должны иметь технико-экономическое обоснование. Стоимость соответствующего оборудования, его монтажа и обслуживания зависит от принятых инженерных решений.

Любой «умный дом» обязан быть прежде всего энергоэффективным, обеспечивая для своего владельца минимальные теплотери и максимальное сбережение тепловой и электрической энергии. Поэтому большое значение для «умного дома» имеют объёмно-планировочные решения, закладываемые в проекте и направленные на повышение энергоэффективности здания:

- расположение помещений с окнами по отношению к странам света;
- коэффициент остеклённости, то есть отношение площади световых проёмов к площади наружных стен в помещении;
- теплотехнические показатели наружных стен, покрытий или чердачных перекрытий и окон;
- форма здания в плане;
- плотность застройки территории.

Санитарные правила и нормы [СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 «Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий»](#) [1] устанавливают гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите жилых и общественных зданий и территорий жилой застройки.

Инсоляция является наиболее важным фактором, оказывающим экологизирующее влияние на среду обитания человека, и должна быть использована в жилых, общественных зданиях и на территории жилой застройки.

«Умный дом» обязан быть прежде всего энергоэффективным, обеспечивая для своего владельца минимальные теплотери и максимальное сбережение тепловой и электрической энергии. Большое значение для «умного дома» имеют объёмно-планировочные решения, закладываемые в проекте и направленные на повышение энергоэффективности здания

Продолжительность инсоляции регламентируется в жилых зданиях, детских дошкольных учреждениях, общеобразовательных учебных учреждениях, а также начального, среднего, дополнительного и профессионального образования, школах-интернатах, детских домах и др.; лечебно-профилактических, санаторно-оздоровительных и курортных учреждениях, учреждениях социального обеспечения (домах-интернатах для инвалидов и престарелых, хосписах и др.).

Как известно, с 1995 года [СНиП 11-3-79*](#) [2] и позднее [СНиП 23-02-2003](#) [3], [СП 50.13330.2012](#) [4] было предусмотрено увеличение приведённого сопротивления теплопередаче наружных ограждений зданий (например, наружных стен) более чем в три раза, заполнения световых проёмов — в 1,1 раза.



Фото 1. Здание «Роснано» как пример строения с высоким коэффициентом остеклённости

Следовательно, расчётные удельные тепловые потери q через наружные вертикальные ограждения современных жилых домов при коэффициенте остекления 10% будут меньше почти в 2,35 раза, при 40%-м остеклении — в 1,5 раза и при 70%-м остеклении — в 1,24 раза. Поэтому, как следствие, должна быть меньше тепловая мощность и, соответственно, стоимость систем отопления будет меньше в связи с уменьшением общей площади поверхности отопительных приборов и диаметров труб стояков и магистралей. Поэтому в [СНиП 23-02-2003 \[3\]](#) было предусмотрено ограничение площади светопрозрачных поверхностей.

Так, в жилых зданиях коэффициент остеклённости фасада должен быть не более 18% (для общественных — не более 25%), если приведённое сопротивление теплопередаче окон (кроме мансардных) меньше: 0,51 м²·°C/Вт при градусо-сутках 3500 и ниже; 0,56 м²·°C/Вт при градусо-сутках выше 3500 до 5200; 0,65 м²·°C/Вт при величине градусо-суток выше 5200 до 7000 и 0,81 м²·°C/Вт при градусо-сутках выше 7000. Допускается увеличивать

В табл. 1 представлены теплотехнические показатели наружных ограждений зданий* в Москве и Московской области (при внутренней температуре в помещении $t_{в} = 20^{\circ}\text{C}$ и последних данных $t_{н5} = -25^{\circ}\text{C}$, $t_{от.п} = -2,2^{\circ}\text{C}$, $Z_{от.п} = 205$ сут., градусо-сутки отопительного периода ГСОП = 4551).

Как видно, приведённые сопротивления теплопередаче заполнения световых проёмов $R_{ок}^{пр}$, принимаемые не менее рекомендуемых из условия энергосбережения, меньше соответствующих сопротивлений теплопередаче наружных стен $R_{нс}^{пр}$ почти в шесть раз.

Теплотехнические показатели наружных ограждений зданий*

табл. 1

Показатели	Наружная стена	Окно, балконная дверь	Покрытие	Перекрытия		
				чердачные	над проездами	над холодными подпольями, подвалами
Нормативный температурный перепад $\Delta t_{н}$, °C						
до изм. 3	6	—	4	4	2	2
с учётом изм. 3	4	—	3	3	2	2
Минимальное приведённое сопротивление теплопередаче, (м²·°C)/Вт						
до изм. 3, 4	0,92	0,42	1,38	1,24	2,76	2,76
с учётом изм. 3, 4 по формуле (1)	1,38	—	1,84	1,66	2,76	2,76
из условия энергосбережения (2-й этап)	2,99	0,46	4,48	3,95	4,48	3,95

* Жилых зданий, лечебно-профилактических и детских учреждений, школ и интернатов. Примечание: $\Delta t_{н}$ — нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции.



Фото 2. Помещение со сплошным остеклением

площадь светопрозрачных ограждающих конструкций при приведённом сопротивлении теплопередаче указанных конструкций более 0,56 (м²·°C)/Вт.

Многие современные здания продолжают проектировать и строить с повышенной площадью остекления (50% и более, фото 1 и 2). Повышенное остекление можно считать допустимым в зданиях, имеющих большую глубину (например, в зданиях вокзалов, аэропортов, торговых центров с круглосуточной работой) и не имеющих рабочих мест вблизи окон.

Величина часовых тепловых потерь через 1 м² окна (средняя за отопительный период) незначительна и для Москвы составляет около 43 Вт/м². Но за один отопительный период величина тепловых потерь составит уже около 212 тыс. Вт/м² (в денежном выражении около 355 руб/м²).

С увеличением площади остекления не только увеличиваются тепловые потери через вертикальные наружные ограждения в холодный период года (и, следовательно, тепловая мощность системы отопления), но и теплопоступления за счёт солнечной радиации в тёплый период и, как следствие, капитальные затраты и стоимость эксплуатации систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

В тёплый период года через 1 м² площади окна (при отсутствии солнцезащитных устройств) в расчётные часы может поступать в помещение до 400–700 Вт и более тепловой энергии за счёт солнечной радиации, что почти в пять-восемь раз больше расчётных тепловых потерь в холодный период года. Это неминуемо приводит к перегреву помещений в тёплый и осенне-весенний периоды [5] и, соответственно, требует значительных капитальных вложений в установки обеспечения номинальных (допустимых или оптимальных) параметров воздуха и больших эксплуатационных расходов.

К сожалению, далеко не все здания имеют стационарные солнцезащитные устройства (СЗУ) — фото 1 и 2. В основном применяются внутренние жалюзи (располагаемые со стороны помещения, как на фото 1), что исключает в основном световой дискомфорт.

Теплопоступления за счёт солнечной радиации, прошедшие через заполнение световых проёмов, практически остаются

•• Технические данные разных по форме в плане зданий

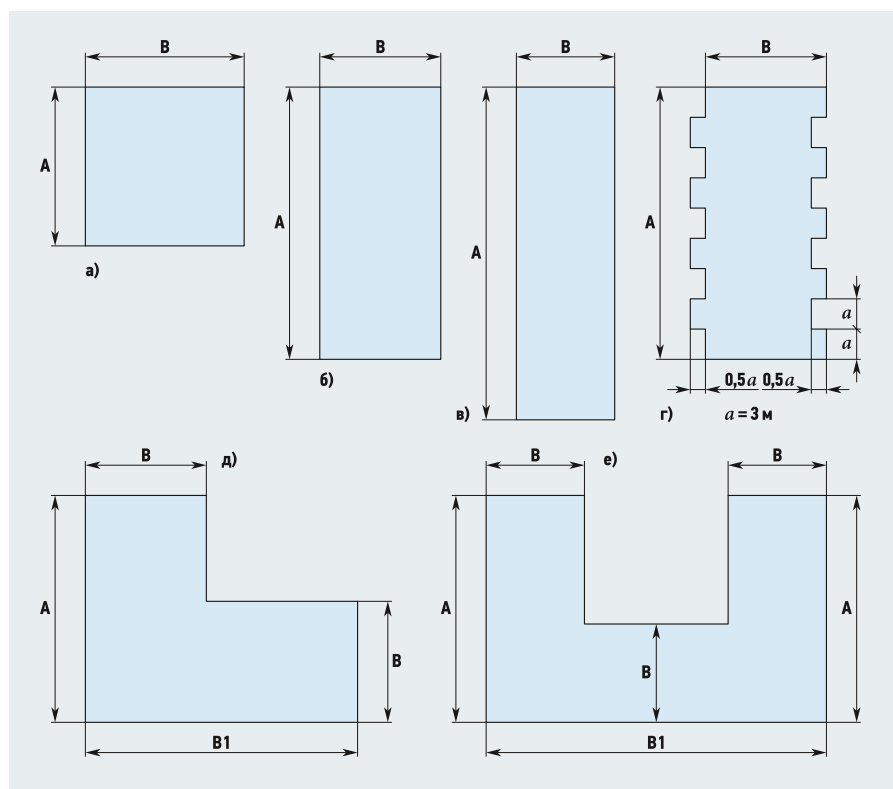
табл. 2

№ рисунка	A, м	B/B ₁ , м	P, м	F, м ²	P/F	P/F, %																				
3а	18	18	72	324	0,222	100																				
3б	27	12	78	324	0,241	108,6																				
3в	36	9	90	0,278	125,2	3г	27	12	126	324	0,389	175,2	3д	24	9/21	90	324	0,278	125,2	3е	24	9/42	162	648	0,250	113,7
3г	27	12	126	324	0,389	175,2																				
3д	24	9/21	90	324	0,278	125,2																				
3е	24	9/42	162	648	0,250	113,7																				

в помещении. К наиболее эффективным стационарным солнцезащитным устройствам можно отнести разработанные Лабораторией светопрозрачных ограждений ЦНИИЭП учебных зданий шторы на основе полиэтилентерефталатной плёнки, располагаемой в межстёкольном пространстве в окнах с двойным остеклением.

Следует заметить, что многие здания имеют не совсем рациональную форму в плане и разрезе. Строятся здания и то-

чечного типа, и вытянутые, узкие и широкие, с плоским и ломаным фасадом (как в плане, так и по высоте). О рациональной форме в плане здания можно судить по величине отношения периметра вертикального наружного ограждения P [м] к общей площади F [м²] здания по наружному размеру. На рис. 1 представлено несколько возможных вариантов формы зданий в плане, имеющих разное отношение периметра к площади P/F .



•• Рис. 1. Возможные формы зданий в плане

Наименьшее значение отношения P/F у здания (табл. 2), имеющего форму квадрата (рис. 1а), а наибольшее — у здания, имеющего прямоугольную форму и ломаный фасад (рис. 1в, 1г). Это означает, что при той или другой форме здание с одинаковой общей площадью может иметь разные площади вертикальных наружных ограждений, пропорциональные их периметру и, следовательно, разные расчётные тепловые потери и тепловую мощность системы отопления, которые могут отличаться на 75% и более.

Здания вытянутые (рис. 1в), Г- и П-образные (рис. 1д и 1е) располагаются на местности порой без учёта розы ветров. В отдельных случаях своим продольным фасадом здания располагаются под прямым углом к преобладающему направлению ветра в холодный период года. Всё это приводит к повышенному ветровому давлению на фасад здания и, как следствие, к повышенной инфильтрации наружного воздуха, то есть большему поступлению наружного воздуха через неплотности заполнения световых проёмов и наружных стен.



Наружные стены в настоящее время выполняются многослойными. Как правило, они состоят из конструктивного слоя (имеющего толщину, обусловленную прочностными показателями), слоя теплоизоляции, внутренним покровным и наружным защитным слоями.

Фактическое приведённое сопротивление теплопередаче наружных стен, по сравнению с проектным значением, зависит в основном от качества выполнения строительных и, в первую очередь, теплоизоляционных работ при возведении наружных ограждений, особенно ломанных в плане фасадов (рис. 1г, 4).

В любых зданиях обычно имеются помещения с разными теплоступлениями (от людей, освещения, оборудования, солнечной радиации). В зданиях всегда есть помещения как с расчётными «теплонедостатками», так и с теплоизбытками в холодный период года.

С целью сокращения стоимости систем обеспечения микроклимата представляется целесообразным помещения с теплоизбытками располагать таким образом, чтобы их заполнения световых проёмов выходили на северо-запад, север и северо-восток, а заполнения световых проёмов помещений с «теплонедостатками» выходили на юго-восток, юг и юго-запад.

Это можно объяснить тем, что теплопоступления солнечной радиации через заполнения световых проёмов северо-западной, северной и северо-восточной ориентации в рабочее время незначительны по сравнению с теплопоступлениями солнечной радиации юго-восточной, южной и юго-западной ориентации [5].

Вообще, расчётные часовые и суточные значения теплопоступлений за счёт солнечной радиации зависят от ориентации здания и действительных условий облачности. Количество теплоты солнеч-

ной радиации, поступающей на вертикальную поверхность южной ориентации в июле при действительных условиях облачности и безоблачном небе в ряде городов, представлено на рис. 2 и 3 [5].

Следует отметить, что величины теплопоступлений в помещение через вертикальные поверхности заполнения световых проёмов за счёт солнечной радиации и теплопередачи, соответствующие суммарной и прямой солнечной радиации, ориентированные в первую очередь на южную, а также на юго-восточную и юго-западную стороны, рекомендуется определять не только для тёплого (в июле), но и весенне-осеннего периодов года для определения большего значения теплопоступлений за счёт солнечной радиации и теплопередачи при определении расчётных теплоизбытков в помещении.

Помещения с теплоизбытками целесообразно располагать так, чтобы их световые проёмы выходили на северо-запад, север и северо-восток, а световые проёмы помещений с «теплонедостатками» — на юго-восток, юг и юго-запад

Немалое значение имеет и цвет фасадов зданий.

В районах с холодной и продолжительной зимой целесообразно выполнять фасады голубого и жёлтого цветов и серых оттенков, имеющих больший коэффициент поглощения теплоты солнечной радиации. Это позволит в холодный период года сократить потребление тепловой энергии на отопление за счёт большего поглощения наружными поверхностями вертикальных ограждений теплоты солнечной энергии в солнечные дни.

В последнее время ведётся плотная застройка территории (фото 3), что приводит к уменьшению или исключению облучения солнцем отдельных помещений существующих и строящихся зданий, расположенных в первую очередь на нижних этажах, и к снижению уровня жизнедеятельности жителей района. ●

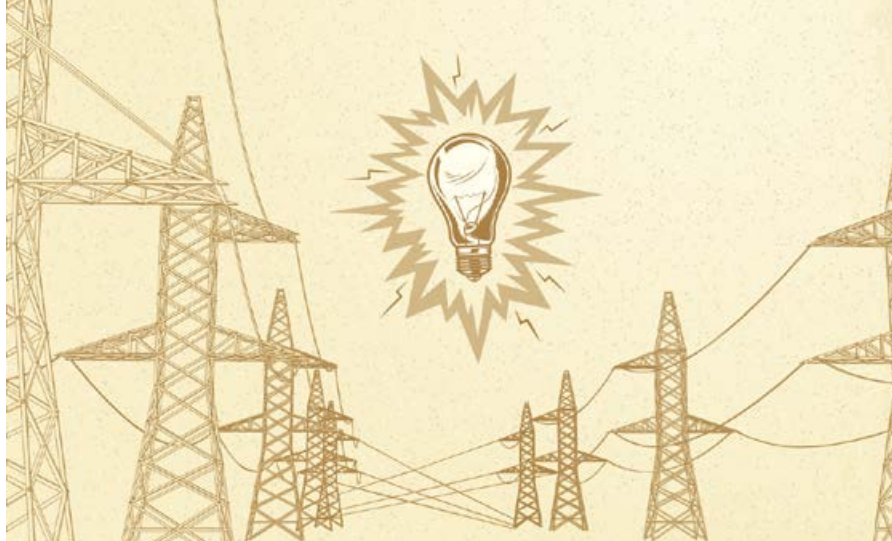


1. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076–01. Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий.
2. СНиП 11-3–79*. Строительная теплотехника / Дата введ.: 01.07.1979.
3. СНиП 23-02–2003. Тепловая защита зданий / Дата введ.: 01.01.2003.
4. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализ. ред. СНиП 23-02–2003 / Дата введ.: 01.07.2013.
5. Крупнов Б.А., Крупнов Д.Б. О комплексных мерах снижения энергопотребления зданиями // Журнал СОК, 2019. №4. С. 86–94.

Энергетическая общественность России в 1880–1992 годах

В развитии науки и инженерного дела важную роль играет общение специалистов, представителей государства и общественных структур. Это взаимодействие отражено в статьях и книгах, посвящённых деятельности энергетической отрасли. Однако фрагментарность изложения материалов указанными источниками обуславливает необходимость объединения их содержания в единый исторический процесс. Такой подход позволяет понять и современное состояние и перспективы дальнейшего развития русской научно-технической энергетической общественной мысли.

Автор: [В.А. БУТУЗОВ](#), д.т.н.,
[Кубанский государственный аграрный университет](#) (КубГАУ, г. Краснодар)



Вступление

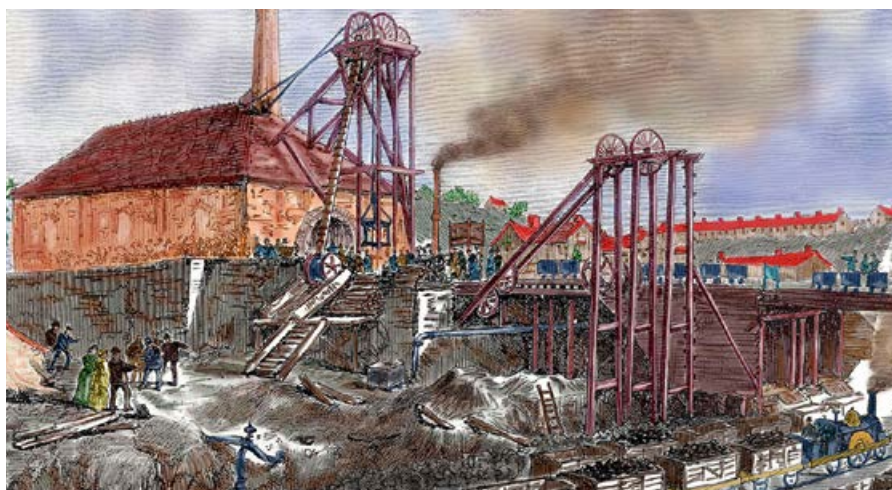
Научно-технические организации успешно работали в России со второй половины XIX века. По данным Н.Г. Филиппова [1], их было около 47. В книге М. А. Шателена [2] описана работа с 1880 по 1920 годы Электротехнического отдела Русского технического общества (РТО) — крупнейшей общественной организации энергетиков страны. В книге Н.С. Симонова [3] указаны достижения в том числе энергетической общественности России в дореволюционный период. В ряде статей, например, в работе В.Л. Гвоздецкого [4], анализируется работа российских энергетиков над таким грандиозным проектом, как «Государственный план электрификации Советской России», известный как «План ГОЭЛРО», и его реализацией в послереволюционный период — с 1917 по 1938 годы. Деятельность общественных энергетических организаций описана в книге Г.О. Левита [5].

Однако некоторая фрагментарность изложения материалов в указанных книгах и статьях обуславливает необходимость объединения их содержания для отображения единого исторического процесса развития энергетики России. Такой подход позволяет понять и современное состояние, и перспективы дальнейшего развития российской научно-технической энергетической общественной мысли.

Дореволюционный период (1900–1917 годы)

Развитие в начале XX века промышленности и железнодорожного строительства в России сопровождалось сооружением для них объектов электроснабжения. В 1900 году установленная мощность электростанций в нашей стране составляла 80 МВт, а выработка электрической энергии в 1905 году насчитывала приблизительно 240 млн кВт·ч в год [3]. В топливном балансе страны преобладали дрова, каменный уголь и нефть. Каменный уголь поставлялся из Донецкого и Силезского месторождений (Польша), треть его импортировалась из Англии. Нефть добывалась в Бакинской губернии. Такой топливный баланс обуславливал высокую стоимость вырабатываемой электроэнергии, в разы большую, чем в развитых европейских странах. При этом в России производилось более половины эксплуатируемых паровых (энергетических) котлов, но паровые двигатели (турбины, локомобили) импортировались.

Страна имела развитую электротехническую промышленность, контролируемую преимущественно германским капиталом. В России тех лет с 1866 года работало одно из самых влиятельных научно-технических объединений — Русское техническое общество (РТО), на треть финансируемое государством.



⚙️ Производство угля в Англии в первой половине XIX века



❖ Экспертная комиссия Императорского Русского технического общества, 1897 год

В его составе были министры, военные, учёные и инженеры, а филиалы общества были во всех губерниях. Одним из отделов РТО (см. врезку на стр. 54–55) с 1880 года был электротехнический, который сразу основал ежемесячный журнал «Электричество» (издаётся и в наши дни), проводил общенациональные съезды и выставки. Первым председателем Электротехнического отдела был избран генерал от инфантерии, один из руководителей Генерального штаба Российской империи Филдфельд Кириллович Величко (1833–1898), в центре научных интересов которого были метрология и электротехника.

Важным этапом в формировании российской энергетической общественности было проведение в 1900 году Первого Всероссийского электротехнического съезда в Петербурге. Его организацией занимался председатель Электротехнического отдела РТО, морской офицер Александр Иванович Смирнов.

В работе съезда приняли участие 563 человека, в том числе 260 с инженерным образованием. Характерен состав этих инженеров: выпускники технологического института — 36%, военные инженеры — 26%, выпускники электротехнического института — 20% [3].

В 1906 году отдел возглавил Михаил Андреевич Шателен (1866–1957), первый в России профессор электротехники Санкт-Петербургского Электротехнического института. Выпускник Санкт-Петербургского университета и Высшей электротехнической школы в Сорбонне, он девять лет руководил энергетической общественностью. При нём РТО получило признание французского и американского обществ электротехников.

В 1903 году по проекту М. А. Шателена была построена ГЭС на реке Подкумок в станице Эссентукская (ныне музей в городе Эссентуки Ставропольского края) мощностью 740 кВт, а в 1914-м в городе Пятигорске — дизель-электрическая станция (ДЭС) мощностью 590 кВт. Впервые

в России эти ГЭС и ДЭС были соединены линией электропередачи длиной 18 км и работали совместно, обеспечивая электроснабжение городов-курортов Кавказских минеральных вод, в том числе трамвайных линий. Уникальную монографию, наиболее полно и образно характеризующую дореволюционную энергетическую общественность, М. А. Шателен написал в 1949 году, а её последнюю редакцию издал в 1955-м [2]. Автор посвятил эту книгу студентам Ленинградского политехнического института, профессором которого он был до последних дней жизни.

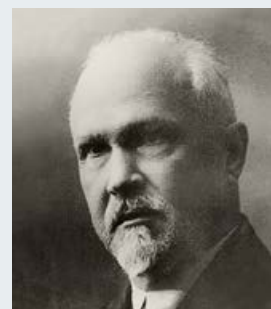
Большинство научных и инженерных школ в Российской империи были сосредоточены в Санкт-Петербурге. В Москве из высших учебных заведений выделялось Императорское московское техническое училище (ИМТУ), основанное в 1868 году. Училище отмечалось высоким уровнем научной подготовки в сочетании с получением студентами практических навыков при работе на реальном оборудовании. Производственная база ИМТУ имела передовую для того времени состав станочного парка, паровые котлы, турбины, электротехническое оборудование.



❖ Ф. К. Величко



❖ М. А. Шателен



❖ П. С. Осадчий



❖ В. И. Гриневецкий



❖ Л. К. Рамзин



❖ К. В. Кирш

Гражданскую позицию М. А. Шателена характеризует многолетняя работа (1900–1917) по восстановлению усадьбы драматурга А. Н. Островского в Костромской области, отца первой (умершей) жены Михаила Андреевича.

В 1916 году преемником М. А. Шателена на посту председателя Электротехнического отдела РТО был избран выпускник Почтово-телеграфного училища (с 1891 года училище было переименовано в Электротехнический институт), профессор этого же института, заместитель начальника Главного управления почт и телеграфов Российской империи Пётр Семёнович Осадчий (1866–1943), который был ведущим российским специалистом по радио- и телеграфной связи.

Работа П. С. Осадчего на посту председателя Электротехнического отдела в 1916–1921 годы совпала с его участием в разработке плана ГОЭЛРО.

На кафедрах топлив, котлов, электростанций, электротехники инженеры получали подготовку на европейском уровне [6].

Лидером российской теплоэнергетики с 1902 года становится выпускник ИМТУ профессор Василий Игнатъевич Гриневецкий (1871–1919). В 1905 году он назначается заместителем директора ИМТУ, а в 1914-м избирается его директором. В. И. Гриневецкий был выдающимся теплоэнергетиком и мыслителем национального масштаба. Известны его работы по методологии подготовки инженерных кадров и экономике [7]. В 1915 году его избрали председателем Теплового комитета при Политехническом обществе ИМТУ. В то время это была единственная российская организация, объединявшая теплоэнергетиков. В ИМТУ работали также выдающиеся теплоэнергетики д.т.н. Леонид Константинович Рамзин (1887–1948), д.т.н. Карл Васильевич Кирш (1877–1919).

ИМПЕРАТОРСКОЕ РУССКОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

«Наука и беспристрастие». История Русского технического общества (1866–1929)

Русское техническое общество (РТО), основанное в 1866 году в Санкт-Петербурге, появилось как ответ интеллектуальной элиты России на мировую научно-техническую революцию, заметно изменившую уклад жизни во второй половине XIX века. Немалую роль в создании РТО сыграл и высокий уровень общественной активности 1860-х годов, связанный с «Великими реформами» императора Александра II. Передовая часть общества желала прогресса и перемен, осозная отсталость страны во всех социально-экономических сферах, особенно в области профтехобразования, что замедляло индустриальное развитие державы и удерживало качество жизни населения на низком уровне.

Русское техническое общество объединило отечественных учёных-теоретиков, инже-

неров-практиков, специалистов, предпринимателей, энтузиастов науки и техники, представителей военного сословия и государственных чиновников [1, 2]. Создателем РТО выступила инициативная группа в составе: профессора Лесного института Е. Н. Андреева, инженера-строителя М. Н. Герсегонова, архи-

тектора П. П. Мижужева, члена Корпуса горных инженеров П. Н. Алексеева, кораблестроителя М. М. Окунева, промышленника И. П. Балабина, артиллериста В. Н. Бестужева-Рюмина, флотского офицера Н. И. Казанова, инженера А. А. Корнилова и фотографа А. В. Фрибеса.

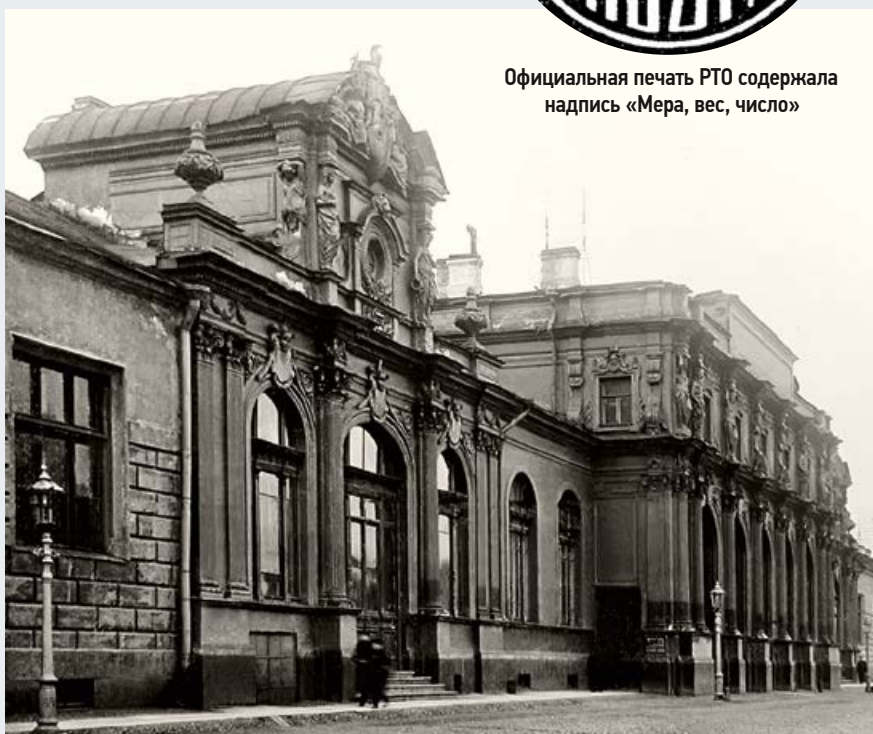
Устав общества 22 апреля 1866 года был «удостоен Высочайшего рассмотрения и утверждения» Александром II, а девизом первого собрания РТО, прошедшего 24 мая (присутствовало более 160 членов) в Санкт-Петербурге в доме одного из учредителей общества, промышленника Д. Е. Бенардаки, стали слова «Наука и беспристрастие».

Благородная цель Русского технического общества была озвучена в его уставе: «Соединение науки с практикой, содействие развитию русской промышленности и техники, создание отечественных технических кадров». Достичь этого предполагалось следующим: устройством чтений, совещаний и публичных лекций о технических предметах; распространением теоретических и практических научных знаний; расширением охвата народных масс техническим образованием; разъяснением научно-технических проблем и вопросов на производствах; устройством выставок изделий промышленности; исследованием материалов, технологий и способов организации труда; учреждением премий и медалей за научно-технические достижения, поддержкой учёных, инженеров, специалистов и талантливых «самородков» из народа; основанием технических лабораторий, библиотек и музеев; а также «ходатайством перед правительством о принятых мерах, могущих иметь полезное влияние на развитие промышленности России» [1]. В целом, РТО предполагало объединение знаний в различных отраслях науки и техники и преодоление разрозненности среди отечественных специалистов [2].

Официальное открытие РТО состоялось 20 ноября 1866 года, на тот момент в обществе уже состояло 525 человек.



Официальная печать РТО содержала надпись «Мера, вес, число»



❖ Одно из зданий Императорского Русского технического общества (с 1870 года) в Соляном городке в центре Санкт-Петербурга на ул. Пантелеймоновской (ныне — ул. Пестеля)

Приветственную речь на церемонии произнёс почётный председатель общества, Его Императорское Высочество князь Николай Максимилианович (Романовский), отметивший:

«Учреждение Русского технического общества исполняет важный пробел в усиливающейся промышленной деятельности России. Вспомним добром тех, от кого мы обрели науку и руководство для технического образования и технической промышленности, но не всё же быть учениками, не всё же, действуя разрозненно и без доверия к самим себе, ожидать указаний от вне или от забот правительства. В настоящее благословляемое Богом царствие русской мысли и русскому делу дан обширный простор, и Россия, богатая средствами на необъятном пространстве своём, имеет у себя и своих людей мысли и дела, чтобы явить богатства свои и стать в уровень с государствами, опередившими её на пути как теоретических, так и практических знаний...» [3].

К 1915 году в РТО насчитывалось 15 отделов: химических производств и металлургии; механической технологии, механики и машиностроения; строительного и горного искусства и архитектуры; судостроения, морской техники, артиллерии и оружейного производства; фотографический; электротехнический; воздухоплавательный и железнодорожный; отдел по техническому образованию; сельскохозяйственный; промышленно-экономический; отдел содействия труду; горный; отдел техники городского и земского хозяйства; а также мелиоративный отдел [1].

Ровно через восемь лет после открытия, 22 апреля 1874 года, Русское техническое общество удостоилось наименования «Императорского». За годы своей деятельности РТО собрало целую плеяду выдающихся учёных, инженеров, изобретателей, предпринимателей и военных: Д. И. Менделеева, Н. Е. Жуковского, А. С. Попова, Д. К. Чернова, И. А. Вышнеградского, М. И. Герсевича, А. И. Дельвига, Д. И. Журавского, А. Н. Крылова, В. Л. Кирпичёва, М. М. Онуева, В. И. Ковалевского, П. А. Кочубя, К. Н. Посьета, Н. Н. Бенардоса, Н. И. Путилова, С. И. Мамонтова, Н. П. Петрова, Т. А. Эдисона, А. Г. Эйфеля, Л. Э. Нобеля и др.

Вся история российской энергетики тесно связана с Электротехническим отделом Русского технического общества, созданным усилиями великих русских электротехников П. Н. Яблочкова, А. Н. Лодыгина и В. Н. Чиколева (и др.) в 1880 году. В отдел сразу подали заявления 56 человек — учёные, инженеры, изобретатели, владельцы промышленных предприятий, работники Главного управления почт и телеграфов и Министерства путей сообщения, военные моряки и т. д.



❖ Дипломы РТО А. С. Попову (о премировании) и Д. И. Менделееву (о членстве в обществе)

Помимо основателей, отдел включил пионеров отечественной электротехники: Н. П. Бульгина, Д. А. Лачинова, Ф. А. Пироцкого, Е. П. Тверетинова, В. Я. Флоренсова, А. М. Хотинского, А. И. Шпаковского, специалистов по телеграфии В. А. Воскресенского, И. Н. Деревянкина, Н. Н. Кормилева, профессоров К. И. Лисенко, Я. И. Ковальского, Р. Р. Вредена, О. Д. Хвольсона, П. Р. Шуляченко, изобретателей С. К. Девецкого, Ч. К. Скржинского, А. И. Смирнова, представителей армии и флота: генералов Н. А. Безака, М. М. Борескова, Л. М. Иванова, адмирала З. П. Рождественского и др. [4].

Яркий след в деятельности Электротехнического отдела оставил Александр Степанович Попов (1853–1906) — великий русский физик, электротехник и изобретатель беспроводной связи, вступивший в РТО в 1893 году. Его первая научная статья «Условия наилучшего действия динамоэлектрической машины» была опубликована в издававшемся РТО журнале «Электричество», а в 1898-м А. С. Попов получил премию РТО (уже Императорского) «за приёмник для электромагнитных колебаний и приборы для телеграфирования без проводников на расстоянии».

Электротехнический отдел РТО может заслуженно гордиться сотрудничеством и с другой знаковой фигурой — русским инженером-электротехником, изобретателем и новатором М. О. Доливо-Добровольским (1862–1919), жившим и работавшим в Германии, но принимавшим активное участие в собраниях РТО, Электротехнических съездах и публикациях журнала «Электричество» (см. врезку на стр. 59).

В 1868 году РТО создало Постоянную Комиссию по техническому образованию, занимавшуюся устройством и ведением образовательных учреждений (училищ, школ, курсов) и вопросами образования и просвещения (в том числе женского), включая взаимодействие с правительством, местными властями и предпринимателями. Развивающаяся российская промышленность нуждалась в квалифицированных кадрах, и РТО организовывала профессиональные технические школы и учи-

лица, плата в которых была минимальной (не более 50 копеек в месяц, иногда и вовсе бесплатно), поставив себе цель «обслуживать беднейшие слои рабочего населения».

Как вывод, следует констатировать, что Русское техническое общество внесло значительный вклад в бурный экономический рост России во второй половине XIX — начале XX века. РТО явилось необходимой опорой для научно-технической интеллигенции и правительства, сыграв важную роль в деле масштабного обновления производства и подготовки технических кадров. Общество, образовывая и просвещая народные массы и раскрывая тем самым высочайший человеческий потенциал, доселе скрытый под давлением самодержавной госмашины, эффективно решало научно-технические вопросы и обеспечивало необходимую для развития страны синергию интеллекта, частного капитала и государственной бюрократии [1, 2].

После событий 1917 года РТО продолжало действовать и добились успехов, особенно в направлении разработки и реализации плана ГОЭЛРО [1]. Однако в результате сочетания множества политических, экономических и идеологических факторов, включая репрессивную линию Советского государства, Русское техническое общество было ликвидировано решением заседания коллегии Ленинградской областной рабоче-крестьянской инспекции 20 июня 1929 года [5]. ●

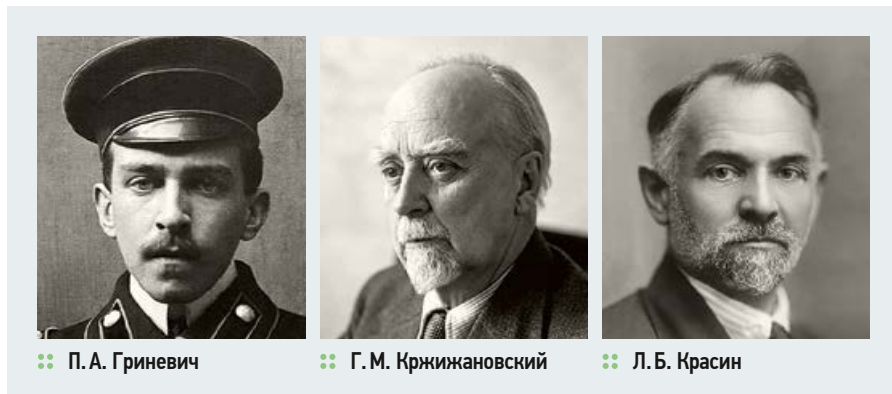
1. Иванов Б. И. Русское техническое общество: история создания, развития и ликвидации. В сб.: Научные и инженерные общества Петербурга: история и современность. К 150-летию РТО. Мат. круглого стола (26.04.2016) / Под ред. Е. Ф. Синельниковой. — СПб.: СПбФ ИИЕТ РАН; Саратов: Амирит, 2019. 156 с.
2. Рынов С. Д. История создания РТО // Вестник РУДН. Серия: История России, 2003. №4. С. 67–73.
3. Записки Русского технического общества [официальный журнал РТО]. — СПб.: РТО; Российская национальная библиотека (РНБ), 1867–1917. Вып. 1–51.
4. Шателен М. А. Русские электротехники XIX века / Под ред. Я. А. Шнейберга. — М.: Госэнергоиздат, 1955. 432 с.
5. Синельникова Е. Ф. Русское техническое общество и власть в 1917–1920-е годы. В сб.: Научные и инженерные общества Петербурга: история и современность. К 150-летию РТО. Мат. круглого стола (26.04.2016) / Под ред. Е. Ф. Синельниковой. — СПб.: СПбФ ИИЕТ РАН; Саратов: Амирит, 2019. 156 с.

Революции, гражданская война, разработка плана ГОЭЛРО

Перед Февральской революцией 1917 года энергетика России имела установленную мощность всех электростанций около 1,3 ГВт, выработку электрической энергии 4,3–4,7 млрд кВт·ч и по этим показателям занимала четвёртое место в Европе. Первая мировая война вызвала в стране топливный кризис: прекратились поставки угля из Польши, оккупированной Германией, и антрацита из Англии. Национализация электростанций (пре-



•• Члены Государственной комиссии по электрификации России (ГОЭЛРО) в 1920-е годы: К. А. Круг, Г. М. Кржижановский, Б. И. Угрюмов, Р. А. Ферман, Н. И. Вашков, М. А. Смирнов



•• П. А. Гриневич

•• Г. М. Кржижановский

•• Л. Б. Красин

имущественно германских) и электротехнической промышленности привела к ряду проблем. В этих условиях научная и инженерная общественность предлагала несколько вариантов выхода из энергетического кризиса и создания условий для развития страны. Так, инженер П. А. Гриневич, работавший в 1914–1917 годы вместе с коммерческим директором торфяной Богородской электростанции в Подмоскowie Г. М. Кржижановским, в журнале «Электричество» в первых трёх номерах 1917 года опубликовал статью «Основные вопросы электрической политики в послевоенную эпоху в России». Директор МВТУ В. И. Гриневецкий в 1918-м опубликовал книгу «Послевоенные перспективы русской промышленности», где была предложена обоснованная программа развития энергетики России. В 1919 году В. И. Гриневецкий умер от тифа в Екатеринодаре [8].

По рекомендации энергетика Льва Борисовича Красина, выпускника Харьковского политехнического института, в советское время наркома торговли СССР, В. И. Ленин с большим интересом изучил книгу В. И. Гриневецкого [4]. По мнению В. Л. Гвоздецкого, В. И. Ленин был одержим идеей определяющего влияния энергетики на экономику и социальное обустройство общества. Реализация этой идеи была поручена личному другу Ленина, его многолетнему соратнику по политическим баталиям Г. М. Кржижановско-

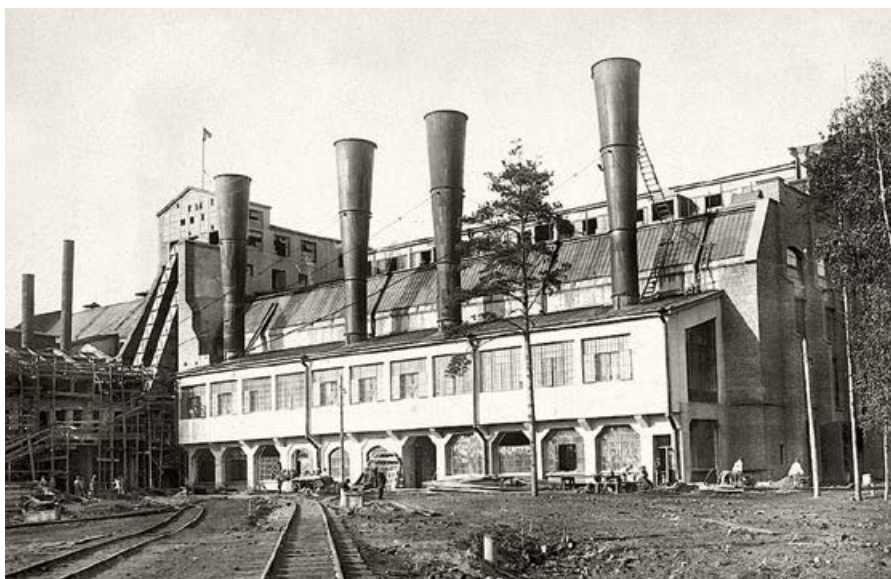
му (1872–1959), энергетика, выпускнику Петербургского технологического института, имевшему опыт строительства Богородской торфяной электростанции (ныне Ногинский район Подмоскowie).

Уже в первые месяцы после Октябрьской революции 1917 года В. И. Ленин организует в составе правительства — Всероссийского совета народных комиссаров (ВСНХ) — структуру по энергетическому строительству, а в феврале 1920-го поручает Г. М. Кржижановскому разработать план электрификации страны [9]. Для этой работы в составе ВСНХ был органи-

зован Центральный электротехнический совет (ЦЭС) под руководством председателя Электротехнического отдела Русского технического общества (с 1916 года) профессора П. С. Осадчего. Г. М. Кржижановский назначил М. А. Шателена уполномоченным ГОЭЛРО по городу Петрограду и Северному району страны.

В состав ЦЭС в качестве оплачиваемых научных консультантов вошли ведущие энергетики и специалисты России. Численность сотрудников ЦЭС в отдельные периоды работы над ГОЭЛРО достигала 256 человек. В большинстве своём это были члены Электротехнического отдела РТО, сотрудники Комитета по изучению естественных производительных сил Императорской академии наук (КЕПС), профессора МВТУ. В 1917 году в 33 городах страны в Русском техническом обществе состояло 10 тыс. человек. РТО издавало 21 журнал и имело 50 образовательных и специальных училищ [10].

К декабрю 1920 года работа над планом ГОЭЛРО была завершена. Он состоял из шести глав (план государственного хозяйства, топливоснабжения, водная энергия, сельское хозяйство, транспорт, промышленность), было изложено на 600 страницах, дополнен восемью томами многостраничных записок по отдельным регионам страны. По завершению этой работы специальным декретом В. И. Ленина в Москве в октябре 1920 года был создан Всероссийский VIII Электротехнический съезд РТО. В работе съезда приняли участие 1300 делегатов (обычно до 700 человек) из всех регионов страны, а также общественные организации: «Общество электротехников в Москве», «Всероссийская ассоциация инженеров» (ВАИ), «Постоянное бюро трамвайных съездов».



•• Торфяная электростанция «Электropредача» (10 МВт) вблизи города Богородска Московской губернии (ныне Ногинск) была запущена в 1914 году. Сегодня это ГРЭС-3 им. Р. Э. Классона



Строительство первой очереди Днепровской гидроэлектростанции (ДнепроГЭС им. В. И. Ленина), плановый пуск которой, в полном соответствии с планом ГОЭЛРО, состоялся в 1932 году

В этих условиях большое значение приобрели вопросы топливо- и теплоснабжения. В.И. Лениным было принято решение об организации в Москве «Всесоюзного теплотехнического института» (ВТИ) под руководством профессора МВТУ Л.К. Рамзина, а в 1923 году состоялся организованный им Первый Всесоюзный теплотехнический съезд. В 1924-м состоялась Всероссийская конференция по электроснабжению, на которой констатировалось отставание сроков реализации ГОЭЛРО в основном из-за проблем топливоснабжения.

По инициативе Л.К. Рамзина в 1925, 1926, 1928 и 1930 годах были проведены Всесоюзные теплотехнические съезды.

Реализация ГОЭЛРО

После одобрения плана ГОЭЛРО Электротехническим съездом он был утверждён правительством. Основной состав его разработчиков перешёл на работу в Государственный плановый комитет при Совете труда и обороны СССР под руководством Г.М. Кржижановского. Наиболее авторитетные энергетики возглавили строительство энергообъектов:

- ДнепроГЭС — Александр Васильевич Винтер (1878–1955);
- Волховская гидроэлектростанция — Генрих Осипович Графтио (1869–1949);
- Шатурская электростанция — Роберт Эдуардович Классон (1868–1926).

В 1920-е годы активно работали следующие общественные энергетические организации: «Электротехнический отдел РТО», «Тепловой комитет Политехнического общества МВТУ», «Всероссийская ассоциация инженеров» (ВАИ), «Общество электротехников в Москве», «Постоянное бюро трамвайных съездов». В 1922



А. В. Винтер



Г. О. Графтио



Р. Э. Классон

году состоялась Всесоюзная конференция этих организаций, на которой были подведены первые результаты выполнения ГОЭЛРО. Состояние энергетики страны на тот момент было удручающим. Сокращение добычи угля на разрушенных шахтах Донбасса, прекращение импорта угля и поставок нефти из Баку актуализировало использование местных малокалорийных топлив и гидроэнергии.

В центре их внимания были вопросы добычи и сжигания торфа, подмосковного угля, сланцев, совершенствование конструкций котлов, развитие централизованного теплоснабжения.

Семилетние результаты выполнения плана ГОЭЛРО были подведены на последнем IX Электротехническом съезде в 1928 году. Одновременно в Москве проходил IV Всесоюзный теплотехнический съезд. По завершению этих съездов работа по инициативе Г.М. Кржижановского была объединена и продолжена в рамках Всесоюзного энергетического съезда.

Производство электроэнергии в СССР за десять лет (1921–1931) выросло в 20 раз: с 0,52 млн кВт·ч до 10,69 млн кВт·ч [2], обеспечив базу для индустриализации страны. Это был результат работы советских энергетиков, в том числе соответствующих руководителей госаппарата, проектных и строительных организаций.

Патриотизм, чувство востребованности, профессиональной и общественной, были основными мотивами работы энергетической элиты страны тех лет. Новое Советское государство обеспечивало возможность реализации смелых научных и инженерных идей, в числе которых создание объединённой энергосистемы страны, массовая теплофикация, освоение новых видов топлива.



Советские плакаты 1920-х годов, посвящённые выполнению плана ГОЭЛРО



Строительство Волховской гидроэлектростанции в Ленинградской губернии в 1926 году

Довоенный и послевоенный периоды

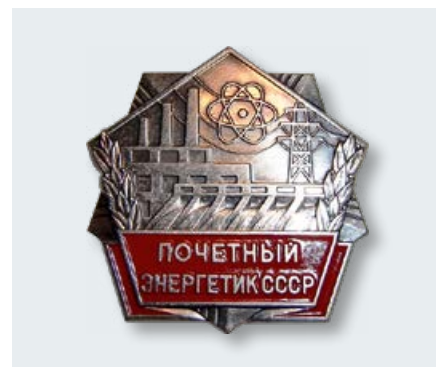
В 1932 году взамен всех ранее существовавших общественных энергетических научно-технических организаций было создано «Всесоюзное общество энергетиков» (ВНИТОЭ). Книга [5] Г.О. Левита является содержательным источником истории отечественной энергетической мысли. Она содержит перечень всех общественных мероприятий XIX и XX веков, а библиография насчитывает 774 наименования. В последующие, 1930-е годы основной формой общения специалистов стали совещания и конференции. Исключением были три Всесоюзных съезда по теплофикации (1930, 1933 и 1938 годы) и Всесоюзный съезд НТО гидравликов и гидротехников в 1931-м. Конференции по гидравлическим машинам состоялись в 1933 и 1935 годах, по проектированию и эксплуатации ГЭС — в 1933, 1934 и 1941 годы.

Теплоэнергетические вопросы рассматривались также на совещаниях по конструкциям тепловых сетей и бойлерам. На электротехнических совещаниях обсуждались вопросы по электроизоляции (1931, 1934 и 1938 годы), по светотехнике (в 1931 году).



Почётный знак «50 лет Первого Всесоюзного съезда стахановцев-энергетиков СССР»

Послевоенное десятилетие (1946–1956 годы) по числу и разнообразию совещаний было весьма продуктивным. Восстановление промышленности, создание объединённой энергетической системы, электроснабжение сельского хозяйства, освоение технологий использования природного газа, масштабное гидростроительство рассматривались на всесоюзных совещаниях: 15 гидротехнических, 54 теплотехнических и 54 электротехнических. Из гидротехнических совещаний следует выделить пять всесоюзных по проектированию, строительству и эксплуатации ГЭС с числом участников до 400 человек.



Из теплотехнических совещаний — пять по газоснабжению, шесть по паровым турбинам, пять по тепловым сетям. Из электротехнических самыми массовыми были совещания по электрическим сетям и по электроприводам. Следует также отметить всесоюзные совещания по ветродвигателям в 1951 году в Баку и по электрическим тракторам в 1953-м в Киеве.

В 1954 году научно-технические общества были переданы в состав советских профсоюзов (ВЦСПС). В результате в последующие годы научный уровень и общественная значимость НТО существенно снизились. Энергетикам в те годы удалось отстоять своё отраслевое НТО (ВНИТОЭ), ограничив его деятельность двух министерств: эксплуатации и строительства электростанций.

В 1957 году после очередной реорганизации НТО энергетики и электротехнической промышленности (НТОЭ и ЭП) имело 46 региональных организаций, 26 научно-технических секций, было соучредителем профессиональных общесоюзных журналов «Электричество», «Теплоэнергетика», «Энергетик», «Электрические станции», «Гидротехническое строительство», «Светотехника». В последние годы существования СССР на Всесоюзном съезде НТО в 1988 году был создан функционирующий в настоящее время Союз научных и инженерных обществ, правопреемник советского НТО.



Функционирующая и в наши дни Волховская ГЭС признана объектом культурного наследия

Фото: ПАО «ТГК-1», tgc1.ru

Михаил Осипович Доливо-Добровольский: русский новатор, инженер и изобретатель



❖ М. О. Доливо-Добровольский (1862–1919)

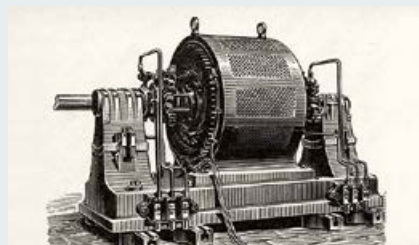
Во второй половине XIX столетия «век пара» сменился «веком электричества», грянула Вторая промышленная революция, что вызвало рост производительных сил, а качество жизни человечества перешло на новый уровень. Одним из тех, кто напрямую способствовал этому свершению, был Михаил Осипович Доливо-Добровольский (1862–1919) — один из основоположников электротехники, великий инженер и изобретатель, наш соотечественник. Его имя навсегда останется в истории, как представителя группы гениев, которые превзошли подвиг Прометея, подарив людям нечто большее, чем огонь, — укрощённую силу электричества, которая сейчас является основой нашего быта.

Михаил Осипович родился в многодетной дворянской семье в Санкт-Петербурге, начальное образование получил в Одесском реальном училище, затем поступил в Рижский политехнический институт, откуда был исключён с «волчьим билетом» за участие в студенческих беспорядках, прокатившихся по стране в марте 1881 года*. Он сумел поступить в Дармштадтское высшее техническое училище, где как раз была создана новая кафедра электротехники, и это учебное заведение Доливо-Добровольский окончил с отличием. Он остался в Германии, преподавателем в Дармштадте, затем работал на швейцарском заводе «Эрликон» (Oerlikon).

Исследовательская деятельность Доливо-Добровольского оказалась столь заметной даже в немецкой высококонкурентной среде, что он приобрёл реноме выдающегося инженера и в 1887 году был приглашён в немецкую «Всеобщую электрическую компанию» (AEG), где и работал до конца жизни, причём в 1909 году стал директором предприятия.

В 1891 году Доливо-Добровольский продемонстрировал созданную им систему передачи трёхфазного тока (15 кВ) с ГЭС на Лауффенском водопаде на расстояние 175 км до павильона на Всемирной электротехнической выставке во Франкфурте-на-Майне.

М. О. Доливо-Добровольский — автор множества изобретений: системы трёхфазного переменного тока, трёхфазного генератора переменного тока с вращающимся магнитным полем (1888), асинхронного электродвигателя переменного тока (1889), трансформатора трёхфазного тока (1890), специальных пусковых реостатов, ряда измерительных приборов, схемы включения генераторов и двигателей «звездой» и «треугольником». Он разработал электромагнитные амперметр и вольтметр для измерений как на постоянном, так и на переменном токах, прибор для определения величины потерь от вихревых токов и гистерезиса в трансформаторной стали, приборы для устранения помех в телефонных линиях, обосновал предельные значения расстояний передачи электроэнергии на переменном токе, изобрёл фазометр (1894) и мн. др.



❖ Трёхфазный электродвигатель М. О. Доливо-Добровольского, 1890 год



❖ Синхронный генератор М. О. Доливо-Добровольского для получения трёхфазного тока на ГЭС Лауффенского водопада, 1891 год

Доливо-Добровольский самым деятельным образом содействовал развитию электротехники в России, участвовал в собраниях Императорского Русского технического общества (РТО), выступал с докладами на Электротехнических съездах РТО и публиковал статьи в журнале РТО «Электричество». Он являлся одним из организаторов Политехнического института в Санкт-Петербурге, разрабатывал учебные программы и курсы, а впоследствии передал институту всю свою библиотеку по электротехнике.

Заслуги М. О. Доливо-Добровольского перед человечеством столь велики и несомненны, что на Западе его сравнивают с английским изобретателем Джеймсом Уаттом. ●



Подводя итоги развития энергетической общественности нашей страны в 1886–1992 годах, можно сделать следующие выводы:

1. Деятельность научно-технической общественности имеет большое значение в формировании научных и инженерных идей в современной энергетике. Дифференциация энергетических наук и инженерной практик требует общения на национальном и международном уровне.
2. Для дореволюционной энергетической элиты было характерно объединение вокруг Электротехнического отдела Русского технического общества (РТО) и Комитета по естественным производительным силам Императорской академии наук (КЕПС), что создало объективные предпосылки для создания плана ГОЭЛРО.
3. Важнейшим этапом в развитии энергетической России была разработка плана ГОЭЛРО, его утверждение на VIII Электротехническом съезде РТО в 1920 году и практическое участие энергетической общественности в строительстве. ●

1. Филиппов Н.Г. Научно-технические общества России (1866–1917) / Отв. ред. А. А. Кузин. — М.: МГИДИ, 1976. 214 с.
2. Шателен М.А. Русские электротехники XIX века. — М.: Изд-во «Рипол Классик», 2013. 436 с.
3. Симонов Н.С. Развитие электроэнергетики в Российской империи: предыстория ГОЭЛРО. — М.: УДП, 2016. 302 с.
4. Гвоздецкий В.Л. Забвению не подлежит. К 100-летию плана ГОЭЛРО и 90-летию процесса по делу Промышленной партии // Социология науки и технологий, 2020. №1. С. 28–52.
5. Левит Г.О. История энергетических обществ СССР. — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957. 176 с.
6. Коршунов С.Р. О роли МГУ им. Н.Э. Баумана в научно-методическом обеспечении высшей школы России. К 30-летию создания УМО // Высшее образование в России, 2018. №6. С. 152–167.
7. Супрунов В.М. Через тернии к признанию / В сб.: МЭИ — история, люди, годы. Т. 3. — М.: Изд-во МЭИ, 2010. 536 с.
8. Кропачев С.А. Профессор В.И. Гриневецкий в Екатерининском // Голос минувшего, 2009. №3–4. С. 113–118.
9. Гвоздецкий В.Л. План ГОЭЛРО — стратегическая программа социально-экономического и научно-технического развития советского государства. К 80-летию со дня принятия плана ГОЭЛРО [Электр. текст]. Режим доступа: pravdo-slovo.ru. Дата обрац.: 10.12.2021.
10. Гуляев Ю.В., Ситцев В.М., Друкаренко С.П. РТО — ВСНТО — Союз НИО. 150 лет на службе Отечеству (1866–2016). — М.: НИЦ «Инженер» (Союз НИО), 2016. 114 с.

* Студенческие беспорядки возникли из-за дестабилизации ситуации в стране и активизации революционных обществ после убийства императора Александра II (13) марта 1881 года членами террористической организации «Народная воля».

Актуальность создания МФЭТК на базе паропоршневой машины

Рецензия эксперта на статью получена 19.02.2022 [The expert review of the article received on February 19, 2022].

Введение

Во время проведения юбилейных мероприятий, посвящённых 100-летию государственного плана электрификации Советской России (плана ГОЭЛРО), хочется отметить и проводимые работы в области повышения энергоэффективности в нашей экономике, а также подобные мероприятия в экономически развитых странах Европы и Америки.

Повышение энергетической эффективности в различных областях промышленности России и её агропромышленного комплекса является одной из самых актуальных задач текущего века. От результатов решения этой насущной задачи зависит и место нашего общества в ряду промышленных и экономически развитых стран мира, а также повышение уровня жизни граждан.

В нашей стране мероприятия в области энергосбережения отнесены к стратегическим государственным задачам, являясь при этом одновременно и основными мероприятиями по обеспечению энергетической безопасности, а также реальным и единственным способом сохранения высоких экспортных доходов от продаж углеводородного сырья.

Необходимые для развития экономики энергоресурсы можно получить не столько за счёт увеличения добычи и переработки углеводородного сырья в труднодоступных районах и строительства новых энергообеспечивающих комплексов, сколько за счёт сбережения этих ресурсов непосредственно на местах их потребления, в частности, в больших и малых населённых пунктах [1].

В нашей стране мероприятия в области энергосбережения отнесены к стратегическим государственным задачам, являясь при этом одновременно и основным мероприятием по обеспечению энергетической безопасности, а также реальным и фактически единственным способом сохранения высоких экспортных доходов от продаж углеводородного сырья

Проведение работ по вопросам повышения энергоэффективности экономики Российской Федерации отвечает положениям Федерального закона №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности», где чётко сформулирована цель действующего закона: «создание правовых, экономических и организационных основ стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности».

Актуальность вопроса

Применение современных автоматизированных и автономных энергетических систем и комплексов с комбинированным производством тепловой и электрической энергии (когенерационные установки) на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) [2], с глубокой внешней утилизацией отводимой теплоты, обеспечивающий необходимую энергетическую надёжность и наличие резервов в системе централизованного энергоснабжения [3], весьма актуально.

УДК 621.161.4. Номер научной специальности: 05.14.08.

Актуальность создания многофункциональных энерготехнологических комплексов (МФЭТК) на базе паропоршневой машины

А. В. Разуваев, д.т.н., доцент, профессор кафедры «Атомная энергетика», Балаковский инженерно-технологический институт Национального исследовательского ядерного университета «Московский инженерно-физический институт» (БИТИ НИЯУ МИФИ), г. Балаково Саратовской области), Почётный энергетик РФ; **И. Я. Редько**, д.т.н., профессор, заместитель директора, Энергетический институт имени Г. М. Кржижановского (АО «ЭНИИ», г. Москва), Почётный энергетик РФ

В статье приводится анализ технической информации о целесообразности применения многофункциональных энерготехнологических комплексов (МФЭТК) на базе паровой поршневой машины в качестве различных видов приводов, например, генератора, насоса, компрессора и т.д. Получение пара обеспечивается за счёт использования местных сортов топлива, а также различных сгораемых бытовых и промышленных отходов. Это даёт возможность решать вопросы экологии прямо на месте эксплуатации данного энергетического комплекса. Также МФЭТК может способствовать повышению энергетической безопасности объектов. Предлагаемый многофункциональный энерготехнологический комплекс может стать объектом дополнительного производства, позволяющего стать инновационным проектом со всеми вытекающими положительными результатами от расширения объёмов производства.

Ключевые слова: паровая поршневая машина, универсальный энерготехнологический комплекс, экологическая и экономическая эффективность, инновационный проект.

UDC 621.161.4. The number of scientific specialty: 05.14.08.

The relevance of the implementation of energy complexes based on a steam piston machine

A. V. Razuvaev, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Atomic Energy, [Balakovo Institute of Engineering and Technology of the National Research Nuclear University MEPhI \(Moscow Engineering Physics Institute\)](#) [Balakovo city, Saratov region], Honorary Power Engineer of the Russia Federation; **Iv. Ya. Redko**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director, [Krzhihanovsky Power Engineering Institute](#) (Moscow city), Honorary Power Engineer of the Russia Federation

The article provides an analysis of technical information on the feasibility of using multifunctional energy technology complexes (MFETC) based on a steam piston machine as various types of drives — for example, a generator, pump, compressor, etc. Steam production is provided through the use of local fuels, as well as various combustible household and industrial waste. This makes it possible to solve environmental issues at the place where this energy complex will be operated. The MFETC can also contribute to improving the energy security of facilities. The proposed multifunctional energy technology complex can become an object of additional production, which allows it to become an innovative project with all the resulting positive results from the expansion of production volumes.

Key words: steam piston machine, universal energy technology complex, environmental and economic efficiency, innovative project.

В дальнейшем при развитии современных средств малой энергетики, в том числе и на базе паропоршневых машин [4, 5], они будут не только альтернативой централизованной энергосистеме, но и основой для быстрого построения, а также создания и внедрения автономного (местного, локального) децентрализованного тепло- и электроснабжения в отдалённых местах и во вновь осваиваемых районах нашей страны, равно как и в уже освоенных, но не имеющих централизованной системы энергоснабжения [6, 7].

Бережное и рациональное использование природных ресурсов приобретает всё большее значение. Решение этой актуальной народно-хозяйственной проблемы предполагает разработку эффективных безотходных технологий за счёт более комплексного использования исходного сырья [8]. Это приводит к устранению экологического ущерба, оказываемого «кладбищами отходов» различного состава. Само понятие «различные отходы потребления и производства» для многих этих отходов становится условным, поскольку они могут превращаться в весьма эффективное, ценное, а порой и дефицитное сырьё. Развитие научно-технического прогресса сопровождается увеличением производства, как в промышленности, так и в сельскохозяйственном секторе, в которое вовлекается всё большее количество природных ресурсов [9].

Инновационный проект

На основании изложенного выше становится актуальным создание такого энергетического комплекса, в котором возможно использование различных видов топлива, в том числе и некоторых бытовых отходов, при этом вырабатывалась бы полезно используемая энергия.

Для решения этих вопросов для автономных объектов различного назначения возможно использовать многофункциональный энерготехнологический комплекс (МФЭТК) на базе паропоршневой машины [10, 11]. В этот комплекс могут входить различные компоненты и оборудование, в зависимости от его назначения и применения, а также от вида обслуживаемого производства [12, 13].

В перечень основного типового оборудования МФЭТК входит газогенератор для производства газа, использующий топливо различных свойств и состава, в том числе и различные виды твёрдых бытовых отходов (ТБО). Здесь следует отметить, что возможно использовать дополнительное оборудование для подготовки топлива для применения его также и в паровом котле.



Пар, получаемый при нагреве воды в котле, по короткому паропроводу поступает в цилиндр паровой машины. Поршень цилиндра своим движением приводит во вращение маховик паровой машины через кривошипно-шатунный механизм.

Применение объекта

Многофункциональный энерготехнологический комплекс на базе поршневой паровой машины может иметь самое разное применение, например, он может быть приспособлен для выработки электрической энергии (электрогенератор), привода какого-либо технологического оборудования (например, компрессора, насоса, механизмов лесопилки, конвейера и т.д.). Здесь следует учесть возможность установки редуктора или возможность обеспечения необходимого передаточного отношения с учётом условий работы применяемого оборудования.

Отработавший пар из цилиндра используется в дальнейшем для отопления различных объектов, например, построек в частных фермерских хозяйствах, особенно вдали от населённых пунктов и линий энергосетей.

Анализ [14] эффективности применения многофункционального энерготехнологического комплекса говорит о целесообразности применения энергокомплексов на базе паропоршневой машины для различного назначения. Там же упоминается и немецкая фирма Spiling, которая имеет опыт применения паровых поршневых машин собственного производства на различных промышленных объектах.

Энергетическая безопасность промышленных объектов является столь же актуальным вопросом и способом значительной экономии финансовых средств из-за убытков, возникающих в результате погодных катаклизмов.





Так, причиной массовой остановки котельных, как отмечается в исследованиях, обычно является временное прекращение электроснабжения. Например, так было в городе Болохов Тульской области зимой 2005–2006 годов: встали все четыре котельные, и город замёрз. Дело в том, что всё вспомогательное оборудование котельных имеет электрический привод. В 28% случаях нарушения теплоснабжения, имевшие серьёзные последствия для потребителей зимой 2005/2006, произошли из-за отключения электроэнергии в результате циклонов, снегопадов, порывистого ветра.

Зимой 2011 года ледяной дождь, обильный снегопад и ветер оставили без электроэнергии подмосковные населённые пункты. Как следствие, отключились и котельные, лишив людей необходимого тепла. Аварийный дизель-генератор не решает проблему, поскольку даже при третьей степени автоматизации он даёт энергию не менее чем через три секунды после сигнала на запуск, что означает неизбежный останов котлов и предпосылку к аварии. Например, 25 мая 2005 года аварийный дизель-генератор Мосводоканала был запущен лишь через шесть часов после останова. В результате фекалии попали в Москву-реку.

Напрашивается вывод, что каждая котельная должна функционировать независимо от внешнего энергоснабжения. Эта проблема может быть решена путём широкого внедрения многофункционального энерготехнологического комплекса, что даёт возможность котельным работать автономно, при этом в разы повышается их надёжность и независимость от погодных условий, которые в нашей стране часто бывают экстремальными.

Главным преимуществом МФЭТК на базе паровой поршневой машины является

возможность одновременного производства тепловой и электрической энергии, другим преимуществом является его универсальность относительно используемых видов топлива, в качестве которого могут использоваться отходы лесозаготовки и деревообработки, животноводства, птицеводства или других отраслей экономики, дрова, уголь, генераторный газ или торф. Это позволяет, с одной стороны, использовать наиболее дешёвые и доступные в рассматриваемом регионе виды топлива, а с другой — сократить потребление невозобновляемых ископаемых энергоносителей. Помимо этого, паропоршневая машина может приводить в действие не только генератор для выработки электроэнергии, но и другие производственные механизмы: воздушные или газовые компрессоры, насосы.

Отметим, что на рентабельность работы многофункционального энерготехнологического комплекса влияют следующие факторы: эффективность производства энергии, стоимость её транспортировки и эффективность потребления энергии. Уже на стадии предварительного анализа можно утверждать, что при использовании предлагаемого МФЭТК будут сведены к минимуму затраты на транспортирование энергии.

Котельная должна быть независимой от внешнего энергоснабжения. Эта проблема может быть решена путём широкого внедрения многофункционального энерготехнологического комплекса, что даёт возможность котельным работать автономно, при этом в разы повышается их надёжность и независимость от погодных условий

Помимо этого, использование отработанного пара в качестве энергоносителя различных систем отопления позволит существенно повысить и эффективность потребления энергии [15].

Типовые параметры энергетического комплекса

Параметры многофункционального энерготехнологического комплекса рассчитываются в зависимости от его назначения. При этом в первую очередь необходимо проанализировать их в зависимости от его назначения, определив технические характеристики МФЭТК. Далее необходимо определить параметры самой паропоршневой машины — давление и температуру пара, его расход, а также частоту вращения ротора. А уже затем осуществлять конструкторско-технологические разработки самой паропоршневой машины и её оборудования.

Также следует учесть возможность использования тепла отработавшего пара после паропоршневой машины для нужд отопления, горячего водоснабжения жилого или производственного комплекса, или и того, и другого одновременно.

Приведём оценочные расчёты будущей предлагаемой паровой машины с выработкой эффективной электрической мощности 150 кВт.

Наиболее целесообразной представляется горизонтальная компоновка машины, тип — двухцилиндровая (компаунд с двойным расширением). Диаметр цилиндра высокого давления составляет 310 мм, диаметр цилиндра низкого давления — 460 мм, при этом необходимое для работы давление пара составляет 1,2 МПа (12 кг/см²) с температурой 300 °С, его расход — 1887 кг/ч. Число оборотов — 2,66 с⁻¹ (160 мин⁻¹).

Паровая машина через механическую трансмиссию вращает генератор для выработки электрического тока. По каталогу подобран генератор БГ-160М-4 Баранчинского электромеханического завода. Технические характеристики генератора: номинальная мощность — 160 кВт; номинальная частота вращения ротора — 25 с⁻¹ (1500 мин⁻¹); ток статора — 289 А; КПД — 91,6%. Передаточное число трансмиссии составляет 9,4.

Согласно предварительной конструкторской проработке, габариты паровой поршневой машины будут равны 4500×4200×1000 мм, а дополнительное необходимое энергетическое оборудование и комплектующие подбираются из серийно выпускаемых промышленностью. Типовая схема энергетического комплекса представлена на рис. 1.

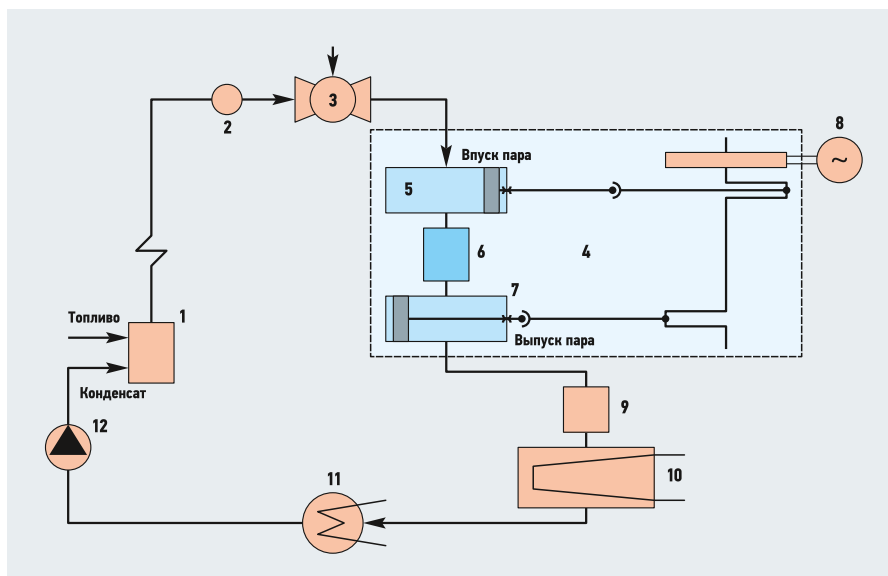


Рис. 1. Типовая схема энергетического комплекса (1 — паровой котёл; 2 — расходомер пара; 3 — регулятор давления пара; 4 — паровая поршневая машина; 5 — цилиндр высокого давления; 6 — ресивер; 7 — цилиндр низкого давления; 8 — электрический генератор; 9 — маслоотделитель; 10 — система отопления потребителя; 11 — конденсатор; 12 — конденсационный насос)

Эффективность применения

Перспективным направлением является также применение в составе МФЭТК газового генератора, что даст возможность одновременно качественно влиять на экологическую ситуацию в близлежащем регионе. Такой вариант комплектации многофункционального энерготехнологического комплекса требует проведения отдельного исследования, при этом экономическая эффективность подобной установки в первую очередь будет зависеть от конкретного вида топлива, сжигаемого в газовом генераторе, получаемого состава генераторного газа и его теплотворной способности.

Таким образом, на экономическую эффективность подобного варианта комплекса существенное влияние будут ока-

зывать особенности конкретного региона, однако можно утверждать, что в любом случае она будет достаточно высокой с учётом требуемых затрат на утилизацию бытовых отходов другими способами.

При расчёте экономической эффективности рассматриваемого в предлагаемой статье варианта МФЭТК, с целью

Создание производства многофункционального энерготехнологического комплекса на базе паропоршневых машин является весьма актуальным и привлекательным инновационным проектом, который, конечно, требует определённых инвестиций для реализации

повышения валидности получаемых результатов, в качестве топлива был принят наиболее распространённый вариант — кленовые дрова с теплотворной способностью 1,6 Гкал/м³ и удельным весом 650 кг/м³.

Состав многофункционального энерготехнологического комплекса будет зависеть от его назначения на конкретном объекте. Расчёт экономической эффективности проводился для МФЭТК на базе паровой поршневой машины, параметры и примерный состав которого приведены выше. В расчёте не учитывался экономический эффект от производственного механизма, приводимого в действие паропоршневой машиной, поскольку его величина может быть определена только для конкретного объекта.

Выводы и предложения

На основании вышеизложенного проведённого анализа и учитывая, что наша страна располагает как высоким интеллектуальным потенциалом, так и необходимыми производственными и природными ресурсами для эффективного решения своих энергетических проблем, можно утверждать следующее.

Производство многофункционального энерготехнологического комплекса на базе паропоршневых машин — весьма актуальный и привлекательный инновационный проект, который требует определённых инвестиций.

Инвесторами могут стать заинтересованные территории и частные компании, заинтересованные в расширении номенклатуры продукции и увеличения объёма своего производства. ●

1. Razuvaev A.V., Kobzev R.A., Redko I.Ya. Multifunctional energy-technological complex on the basis of a steam-piston power plant for autonomous facilities of various purposes. Problems of energy systems and thermal power complexes: Proc. of the 14th International Scientific and Technical Conference. October 30 — November 1, 2018. Saratov, Russia. Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1111.
2. Razuvaev A.V. Study of cogeneration plant operation during its work for consumer. Information Technologies in Education of the XXI Century (ITE-XXI): Proc. of the International Scientific-Practical Conference. December 7–8, 2015. Moscow, Russia. American Institute of Physics Conf. Proc. Vol. 1797.
3. Razuvaev A.V., Редько И.Я. Энергетическая безопасность объектов // Молодой учёный, 2015. №23.1. С. 37–39.
4. Razuvaev A.V. Перспективы применения паровых поршневых машин в многофункциональных энерготехнологических комплексах / Совершенствование энергетических систем и теплоэнергетических комплексов: Сб. мат. XIII Межд. науч.-практ. конф. (1–3.11.2016). — Саратов: Изд-во СГТУ, 2016. С. 327–330.
5. Шамин Р.Н., Буянов А.В., Рazuvaev A.V. Перспективы применения паровых поршневых машин в энергетических комплексах / Совершенствование энергетических систем и теплоэнергетических комплексов:

- Сб. мат. XII Межд. науч.-техн. конф. (29–31.10.2014). — Саратов: Изд-во СГТУ, 2014. С. 188–191.
6. Razuvaev A.V., Мурин С.В., Костин Д.А. Повышение надёжности энергоснабжения автономного объекта // Энергобезопасность и энергосбережение, 2013. №6. С. 23–25.
7. Slobodina E.N., Mikhailov A.G., Razuvaev A.V. Vacuum boiler elements temperature processes interrelation. Oil and Gas Engineering (OGE-2018): Proc. of the International Scientific-Practical Conference. February 26 — March 2, 2018. Omsk, Russia. American Institute of Physics Conf. Proc. Vol. 2007.
8. Власов А.В., Власова Е.М. К вопросу о промышленных отходах / Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: Сб. мат. Всеросс. науч.-метод. конф. — Оренбург: Изд-во ОГУ, 2013. С. 694–697.
9. Редько И.Я., Рazuvaev A.V. Актуальность применения паровых машин // Энергетик, 2009. №1. С. 27–30.
10. Крутихина Т.А., Рazuvaev A.V., Кобзев Р.А. Универсальный теплоэнергетический комплекс на базе паропоршневой машины / Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании: Сб. мат. II Межд. науч.-практ. конф. (18.12.2019). — М.: НИЯУ МИФИ; БИТИ МИФИ, 2020. Т. 1. С. 47–51.
11. Razuvaev A.V., Kobzev R.A., Redko I.Ya. Multifunctional energy-technological complex on the basis of a steam-piston power plant for autonomous facilities of various

- purposes. Problems of energy systems and thermal power complexes: Proc. of the 14th International Scientific and Technical Conference. October 30 — November 1, 2018. Saratov, Russia. Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1111.
12. Razuvaev A.V. Анализ эффективности паропоршневой энергетической установки // Вестник КРСУ, 2016. Т. 16. №9. С. 56–59.
13. Razuvaev A.V., Мансурова Р.Р., Ливанова Т.В. Применение паропоршневых машин в энергетическом комплексе / Энергоэффективность и энергосбережение: Сб. мат. II Всеросс. науч.-практ. конф. (21.12.2016). — М.: НИЯУ МИФИ; БИТИ МИФИ, 2016. С. 48–51.
14. Razuvaev A.V., Редько И.Я., Мансурова Р.Р., Ливанова Т.В. Оценка основных размеров паропоршневой машины / Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий: Сб. мат. III Межд. науч.-практ. конф. (18–23.04.2017). — М.: НИЯУ МИФИ; БИТИ МИФИ, 2017. С. 39–41.
15. Razuvaev A.V., Костин Д.А., Шумкова Ю.А., Агеева А.В. Анализ применения материалов для паропоршневых энергетических машин / Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий: Сб. мат. III Межд. науч.-практ. конф. (18–23.04.2017). — М.: НИЯУ МИФИ; БИТИ МИФИ, 2017. С. 34–38.

References — see page 79.

Анализ зависимости тепловой энергии, затраченной на отопление и охлаждение зданий, от различных факторов

Рецензия эксперта на статью получена 17.02.2022 [The expert review of the article received on February 17, 2022].

Основными видами потребляемой малоэтажными домами энергии являются электрическая энергия на освещение и питание бытовых электроприборов, тепловая энергия на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение, а также тепловая энергия в виде холода на охлаждение здания в тёплый период. В связи с этим возникает задача выбора типа и мощности источника энергии в случае автономного энергоснабжения здания. Критериями выбора источника в этом случае является вид потребляемой энергии, установленная мощность, режим потребления мощности, количество потребной энергии за период (отопительный, охлаждающий, за год и т.д.).

Решение поставленной задачи осложняется разнообразием проектов зданий, применяемых при строительстве материалов, различными климатическими условиями и другими факторами. Поэтому для упрощения расчётов и для большей наглядности полученных результатов рассчитаем потребное количество энергоресурсов для зданий различной площади, расположенных в трёх различных климатических регионах при условии, что термические сопротивления наружных ограждений зданий соответствуют нормативным значениям при проектировании тепловой защиты зданий [1].

Соотношения площадей наружных ограждений (стен, окон, полов и потолков) приняты из усреднённых значений для жилых зданий. При расчёте потребного количества тепловой энергии, как для отопления, так и для охлаждения, учитывалось количество теплоты, поступившее в здание за счёт солнечной радиации. Расчёт потребного количества энергоресурсов проводился в соответствии с требованиями нормативных документов [2].

Термическое сопротивление ограждающих конструкций зданий регламентиру-

Для упрощения расчётов и большей наглядности полученных результатов рассчитаем потребное количество энергоресурсов для зданий различной площади в трёх различных климатических регионах

ются [СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» \[1\]](#), при этом значения термического сопротивления зависят не только от назначения здания, но и от климата.

В качестве объекта исследования в данной работе принято многоквартирное жилое здание (коттедж).

Затраты тепловой энергии на отопление

Для примера были заданы различные значения площади здания, например, 150, 300 и 500 м². При высоте этажа 3 м отапливаемые объёмы составят, соответственно, 450, 900 и 1500 м³. В связи с многообразием конкретных проектов и планировок зданий некоторые параметры (коэффициент остеклённости, показатель компактности) приняты усреднённо, исходя из следующих соображений.

Коэффициент остеклённости принимаем в пределах, регламентированных п. 5.11 [СНиП 23-02-2003 \[1\]](#) (для жилых зданий не более 18% — $f=0,18$). Значения площадей окон и балконных дверей составят 49,6 м² для здания площадью 150 м², 99,1 и 165,2 м² для зданий площадью 300 и 500 м².

Для рассматриваемых зданий принято одинаковое количество этажей — два этажа. Тогда, в соответствии с [СНиП 23-02-2003 \[1\]](#) принимаем коэффициент компоновки здания $K_{\text{комп}} = 0,9$.

Мощность внутренних источников теплоты для жилых зданий составляет в среднем 10 Вт/м².

УДК 658.264. Научная специальность: 05.14.04.

Анализ зависимости тепловой энергии, затраченной на отопление и охлаждение зданий, от различных факторов

Е. Г. Гашо, д.т.н., профессор, кафедра «Промышленные теплоэнергетические системы» (ПТС), [Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» \(НИУ «МЭИ»\)](#); А. М. Фокин, старший преподаватель, кафедра «Промышленной теплоэнергетики» (ПТЭ), [филиал НИУ «МЭИ» в г. Смоленске](#)

В статье проведён анализ мощности системы отопления и количества энергии для тепло- и холодоснабжения малоэтажного многоквартирного здания. Определены расчётная мощность системы отопления, количество теплоты на отопление и холода для зданий различной площади, расположенных в трёх климатических регионах. Полученные результаты могут быть использованы при выборе источника энергии, при планировании количества энергоресурсов для энергоснабжения, при составлении энергетических балансов.

Ключевые слова: теплоснабжение, климат, кондиционирование, солнечная радиация, охлаждение.

UDC 658.264. The number of scientific specialty: 05.14.04.

Analysis of the dependence of thermal energy spent on heating and cooling of buildings on various factors

Ev. G. Gasho, Doctor of Sciences in Technology, Professor, the "Industrial Heat Power Engineering Systems" Department, [National Research University "Moscow Power Engineering Institute"](#); Al. M. Phokin, senior lecturer, the "Industrial Heat Power Engineering", [Smolensk branch of National Research University "Moscow Power Engineering Institute"](#).

The article analyzed the power of the heating system and the amount of energy for heat and cold supply of a low-rise single-family building. The design capacity of the heating system, the amount of heat for heating and cold for buildings of various sizes located in three climatic regions were determined. The results obtained can be used when choosing an energy source, when planning the amount of energy resources for energy supply and when compiling energy balances.

Key words: heat supply, climate, conditioning, solar radiation, cooling.

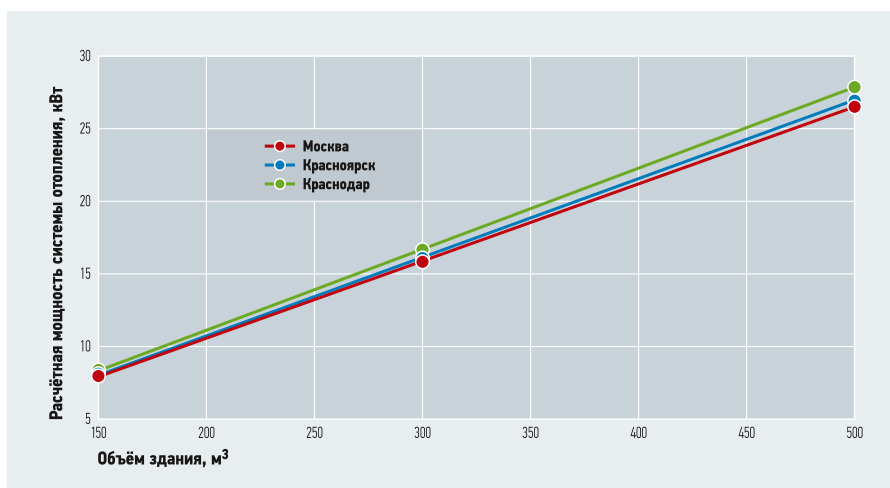


Рис. 1. Зависимость расчётной мощности системы отопления от площади отапливаемого здания

Помимо различной площади для большей наглядности в различиях энергетических характеристик зданий введём разделение по климату: рассмотрим три региона РФ с континентальным климатом, с умеренным континентальным и с субтропическим климатом, то есть города Красноярск, Москву и Краснодар.

Выбранные регионы существенно различаются по параметрам климата: так, расчётная температура наружного воздуха для отопления для Красноярска составляет -37°C , для Москвы -26°C , для Краснодара -15°C [3].

Продолжительность отопительного периода для Красноярска наибольшая — 234 суток при средней температуре отопительного периода $-6,6^{\circ}\text{C}$, для Краснодара минимальная — 146 суток при средней температуре $+2,2^{\circ}\text{C}$.

Температура воздуха внутри помещений для расчёта градусо-суток отопительного периода (ГСОП) принята равной $+20^{\circ}\text{C}$.

Значения термических сопротивлений ограждений для каждого города согласно СНиП 23-02-2003 [1] определены из условия отсутствия конденсации влаги на внутренней поверхности ограждения и представлены в табл. 1.

Из полученных значений видно, что нормируемое термическое сопротивление наружных ограждений определяется только суровостью зимы (параметром ГСОП) и различно для каждого города.

Средний коэффициент теплопередачи ограждений зданий определим по формуле (Ж.1) из СП 50.13330.2012 [1]:

$$k_{\text{общ}} = \frac{1}{V} \sum_i \left(n_{t,i} \frac{A_i}{R_{o,i}^{\text{нп}}} \right).$$

Максимальное из найденных значений коэффициентов теплопередачи ограждений получено для Краснодара — $0,691 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, минимальное для Красноярска — $0,414 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, для Москвы получили $0,505 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Таким образом, для Красноярска теплозащита ограждений должна быть более чем на 50% эффективнее, чем для Краснодара.

Термические сопротивления ограждающих конструкций зданий

табл. 1

Город	Градусо-сутки отопительного периода, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут.}$	Нормируемые значения сопротивления теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{C}/\text{Вт}$			
		стен	покрытий и перекрытий над проездами	перекрытий чердачных, над неотапливаемыми подпольями и подвалами	окон и балконных дверей, витрин и витражей
Красноярск	6224	3,58	5,31	4,70	0,61
Москва	4529	2,99	4,46	3,94	0,49
Краснодар	2526	2,28	3,46	3,04	0,34

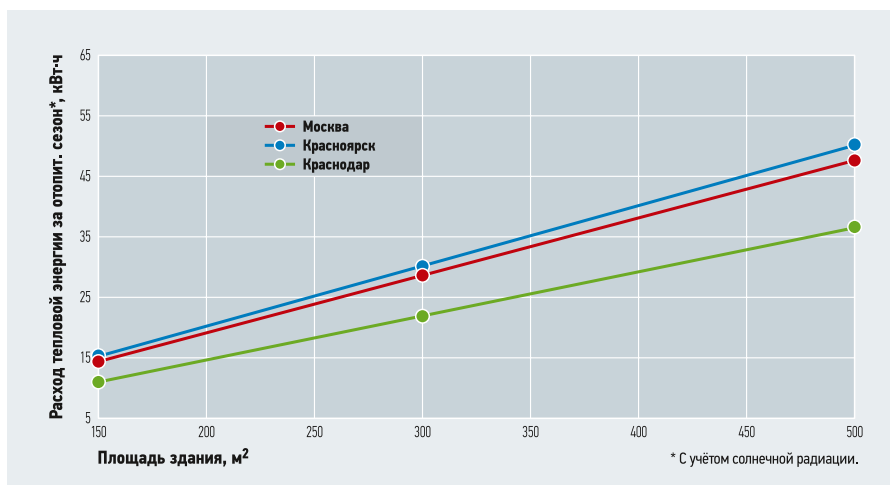


Рис. 2. Расход тепловой энергии за отопительный период с учётом теплопоступлений от солнечной радиации

Расчётная тепловая мощность на отопление и вентиляцию зданий составила в среднем от 8 кВт (для здания 150 м^2) до $27,8 \text{ кВт}$ (для здания 500 м^2), как это показано на рис. 1 [2].

Полученные результаты свидетельствуют о том, что мощность системы отопления зданий, расположенных в различных климатических регионах, определённая при условии соответствия термического сопротивления наружных ограждений требованиям нормативных документов [1–5], не зависит от расчётной температуры наружного воздуха и примерно одинакова для зданий одной площади.

При расчёте потребного количества тепловой энергии, как для отопления, так и для охлаждения, учитывалось количество теплоты, поступившего в здание за счёт солнечной радиации [6, 7].

Несмотря на одинаковую расчётную мощность системы отопления, количество теплоты на отопление данных зданий за отопительный период зависит от климата — здание, расположенное в регионе с большей продолжительностью отопительного периода и, соответственно, с более низкой за период средней температурой наружного воздуха за отопительный период, потребует большего количества теплоты на отопление. Из рассмотренных в работе городов это будет Красноярск — от $2,1 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$ для здания 150 м^2 до $70,6 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$ для здания 500 м^2 . Затем

следует Москва ($18,8$ и $62,5 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$), минимальное количество теплоты потребует для отопления здания в Краснодаре ($14,5$ и $48,3 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$).

Количество теплоты, потребное на отопление данных зданий за отопительный период и рассчитанное с учётом теплоты от солнечной радиации, также будет больше для зданий с большей продолжительностью отопительного периода и с более холодной зимой, но разница между количеством теплоты для разных регионов будет меньше (рис. 2).

При этом удельные характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию для всех зданий будут примерно одинаковы — $17,6$ – $18,6 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Удельные расходы теплоты на отопление с учётом солнечной радиации (и без неё) также будут различаться меньше. Это является следствием поступления дополнительного количества теплоты в отапливаемое здание за счёт солнечной радиации. Особенно заметно влияние теплоты от солнца в начале и конце отопительного периода — октябрь и апрель, например, для Красноярска поступления теплоты за счёт солнечной радиации в конце отопительного периода может достигать более 80% от потерь теплоты через наружные ограждения (рис. 3) [8].



Затраты холода на охлаждение помещений

В охлаждающий период параметры микроклимата при кондиционировании помещений в охлаждающий период следует предусматривать для обеспечения параметров внутреннего воздуха в пределах верхних значений оптимальных норм по ГОСТ 30494 [4] (формулировка по СП 60.13330.2020), в качестве расчётной температуры внутреннего воздуха была принята температура +20°C. При определении количества холода на охлаждение учтены следующие обстоятельства:

1. Удельные внутренние теплопоступления в зданиях снижаются за счёт меньших теплопоступлений от освещения из-за увеличения светового дня по сравнению с отопительным периодом до величины.
2. Теплопоступления с солнечной радиацией в тёплый (охлаждающий) период возрастают из-за увеличения длительности светового дня и интенсивности солнечного излучения, при этом основное количество теплоты поступает в помещения через световые проёмы, воздействием солнечной радиации на непрозрачные ограждения (стены, крышу, потолки и т.д.) пренебрегаем ввиду их малой величины.

Таким образом, для жилого здания теплопоступления в охлаждающий период разделяются на три вида: внешние $Q_{\text{рад}}$ (с солнечной радиацией), внутренние $Q_{\text{вн}}$, а также теплопоступления за счёт

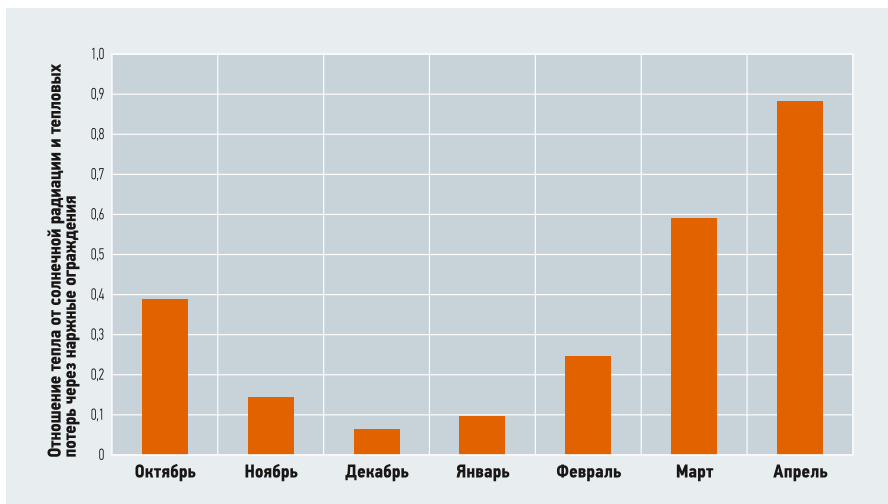


Рис. 3. Отношение количества теплоты, поступающего от солнечной радиации, и тепловых потерь через ограждающие конструкции

Количество холода на охлаждение зданий в охлаждающий период

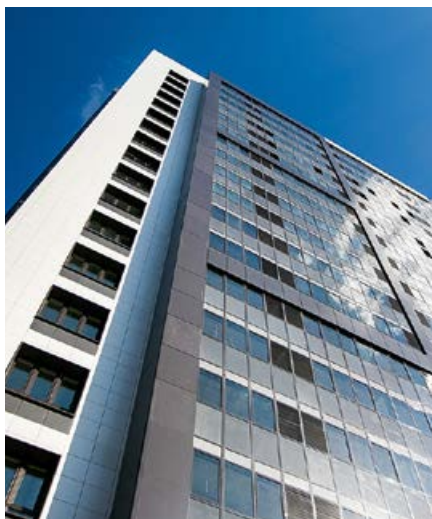
табл. 2

Город	Количество холода, требуемое для охлаждения помещения $Q_{\text{охл}}$ [кВт·ч] при площади, м ²			Продолжительность охлаждающего периода $n_{\text{охл}}$, ч
	150	300	500	
Красноярск	1058	2115	3525	490
Москва	1547	3094	5157	761
Краснодар	3716	7432	12386	2083

тёплого наружного воздуха с температурой выше расчётной температуры воздуха в помещениях $Q_{\text{вент}}$.

Температуру наружного воздуха начала/окончания охлаждающего периода, учитывая, что величина внутренних тепловыделений для жилого здания мала, приняли равной расчётной температуре внутреннего воздуха, то есть также +20°C.

Длительность охлаждающего периода была определена следующим образом: из таблицы продолжительности стояния температур наружного воздуха [5] выбрана продолжительность периода, когда температура наружного воздуха была выше расчётной температуры внутреннего воздуха в охлаждающий период. Для Москвы длительность охлаждающего периода будет равна 761 ч.



Далее по графику среднемесячных температур наружного воздуха (рис. 3) был определён период, вблизи которого наружная температура наружного воздуха будет наивысшей [9]. В этом случае для выбранных городов это будет июль. Соответственно, интенсивность солнечной радиации рассчитаем для июля. В случае, если продолжительность охлаждающего периода будет значительно больше одного месяца, необходимо учесть изменение радиации в другие месяцы [10].

Средняя температура наружного воздуха определена усреднением температур из таблицы [5] пропорционально продолжительности стояния:

$$t_{\text{н}}^{\text{CP}} = \frac{\sum (t_{\text{н}i} \tau_i)}{\tau_{\text{нн}} \geq 20^{\circ}\text{C}} = \frac{17713}{761} = 23,28^{\circ}\text{C}.$$

Энтальпия и плотность воздуха при этой температуре составят 1,193 кг/м³ и 1,005 кДж/(кг·°C), соответственно.

Далее приведён расчёт количества теплоты для охлаждения для здания площадью 150 м², расположенного в Москве:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ох}} &= Q_{\text{вн}} + Q_{\text{вент}} + Q_{\text{рад}} = 0,001 q_{\text{вн}} A \tau_{\geq 20^{\circ}\text{C}} + \\ &+ 0,001 L_{\text{вент}} \left(c_{\text{в}}^{23} \rho_{\text{в}}^{23} - c_{\text{в}}^{20} \rho_{\text{в}}^{20} \right) A \tau_{\geq 20^{\circ}\text{C}} + \\ &+ Q_{\text{рад}}^{\text{июль}} \frac{\tau_{\geq 20^{\circ}\text{C}}}{\tau_{\text{июль}}} = 0,001 \times 1,63 \times 150 \times 761 + \\ &+ 0,001 \times 0,7 \times \left(1,005 \times 1,193 \times 23 + \right) \times \\ &\times 150 \times 761 + 1389 \frac{761}{744} = 186 + 74,5 + 1420 = \\ &= 1680,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 6050 \text{ МДж}. \end{aligned}$$

Результаты расчётов количества потребного холода приведены в табл. 2.

Таким образом, из результатов расчёта потребляемой энергии на охлаждение зданий следует, что количество холода однозначно определяется интенсивностью солнечной радиации и параметрами наружного воздуха летом, а вкладом теплопоступлений через теплоёмкие наружные ограждения (стены, перекрытия) можно пренебречь.

Далее можно сформулировать выводы:

1. Расчётная мощность системы отопления зданий, расположенных в различных климатических регионах, определённая при условии соответствия термического сопротивления наружных ограждений требованиям нормативных документов, не зависит от параметров климата (расчётной температуры наружного воздуха и градусо-суток отопительного периода) и примерно одинакова.
2. Количество тепловой энергии, потребной на отопление за отопительный период, существенно зависит от суровости климата — при более низкой температуре наружного воздуха и более продолжительном отопительном периоде требуется заметно большее количество тепловой энергии.
3. Удельные расходы теплоты на отопление с учётом солнечной радиации (и без неё), так же, как и расчётная мощность системы отопления, будут различаться меньше для разных городов. Связано это с тем, что для регионов с более мягкой зимой требуемое термическое сопротивление наружных ограждений меньше, чем для городов с более холодным и продолжительным отопительным периодом.
4. Относительная величина теплопоступлений за счёт солнечной радиации для районов с большей продолжительностью отопительного периода будет больше, чем для тёплых районов. Это является следствием поступления дополнительного количества теплоты в отапливаемое здание за счёт солнечной радиации. Особенно заметно влияние теплоты от солнца в начале и конце отопительного периода — октябрь и апрель, например, для Красноярска поступления теплоты за счёт солнечной радиации в конце отопительного периода могут достигать более 80% от потерь теплоты через наружные ограждения.
5. При этом мощность системы кондиционирования здания в основном зависит от интенсивности солнечной радиации и максимальной температуры воздуха летом. Количество холода для охлаждения зданий находится в обратной зависимости от температуры наружного воздуха. В более тёплом климате для зданий требуется большее количество холода за охлаждающий период независимо от теплозащитных свойств наружных ограждений. ●

1. [СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализ. ред. СНиП 23-02-2003. / Дата введ.: 01.07.2013.](#)
 2. [СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Актуализ. ред. СНиП 41-01-2003 / Дата введ.: 01.07.2021. — М.: Минстрой России, 2020.](#)
 3. [СП 131.13330.2020. Строительная климатология / Дата введ.: 25.06.2021. — М.: Минстрой России, 2020.](#)
 4. [ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях / Дата введ.: 01.01.2013. — М.: Стандартинформ, 2019.](#)
 5. Строительная климатология: Справ. пособие к СНиП 23-01-99* / Под ред. В.К. Савина. — М.: НИИ строительной физики РААСН, 2006. 258 с.
 6. Шибeko A.C., Косько П.Ю., Гутор Т.И. Совершенствование метода расчёта теплопоступлений от солнечной радиации через светопрозрачные конструкции // Приволжский научный журнал, 2020. №1. С. 93–100.
 7. Скaнaви A.Н., Мoxoв Л.М. Отопление. — М.: Изд-во АСВ, 2006. 576 с.
 8. Дaшeeв С.С., Мaлышев Е.А. Солнечная энергетика: состояние и перспективы // Вестник науки и образования, 2018. №17-1. С. 51–53.
 9. Пoгoдa и климaт [Электр. текст]. Режим доступа: pogodaiklimat.ru. Дaтa oбpaщ.: 01.12.2021.
 10. Шилaев М.И., Хрoмoвa Е.М., Дopoшeнкo Ю.М. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Примеры расчёта систем: учебное пособие для вузов / Под. ред. М.И. Шилaевa. — М.: Изд-во «Юрайт», 2022. 250 с.
- References — see page 80.



Видит всё Думает за вас

Новый тепловизор testo 883
Разработан специально для
профессионалов в области энергоаудита
зданий и превентивной диагностики

- **Лучшее качество изображения:** разрешение 320x240 пикселей (640x480 пикселей с функцией SuperResolution)
- **Автоматическое управление термограммами:** привязка изображения к правильному объекту измерения
- **Профессиональное документирование:** быстрое создание отчётов, профессиональное ПО
- Приложение **testo Thermography App**
- Внесен в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений



Особенности запуска однолопастных ветроэнергетических установок малой мощности

«Памяти моего учителя и друга
Ивана Андреевича Бабинцева»

От автора.

Рецензия эксперта на статью получена
12.01.2022 [The expert review of the article
received on January 12, 2022].

Для электроснабжения удалённых маломощных потребителей электрической энергии в регионах со среднегодовыми ветрами более 4 м/с целесообразно применение ветроэнергетических установок (ВЭУ). Из всего многообразия их конструкций наибольшее применение находят горизонтально-осевые (ГО) ветроустановки. Основным их отличием от вертикально-осевых (ВО) является более высокий коэффициент преобразования энергии ветра C_p , в современных ВЭУ достигающий 0,5–0,52 при его максимальном теоретическом значении, определённом Н.Е. Жуковским [1] и чуть позднее, в 1919 году, немецким физиком Альбертом Бетцом, $C_p = 0,593$ [2].

Кроме того, горизонтально-осевые ВЭУ имеют меньшую материалоемкость и являются более лёгкими и дешёвыми. Кроме того, они обладают большей быстротходностью, что позволяет использовать в них (при прямом приводе) электрические генераторы с меньшей массой [3].

Для электроснабжения передвижных объектов различного назначения, геологических экспедиций, туристических групп, альпинистов, пастухов (чабанов) и других потребителей требуются ветро-

установки, имеющие малые габариты при вырабатываемых мощностях от 50 Вт до 2 кВт. Геометрические размеры ветроколеса могут быть определены по основной формуле ветроэнергетики [1]:

$$P = C_p \rho \eta \frac{S_{\text{ом}} v^3}{2} = C_p \rho \eta \frac{\pi R^2 v^3}{2}, \quad (1)$$

где P — мощность горизонтально-осевой ВЭУ; v — скорость воздушного потока (ветра), м/с; C_p — коэффициент преобразования энергии ветра; $\eta = \eta_{\text{ген}} \eta_{\text{мульти}}$, где $\eta_{\text{ген}}$ — КПД генератора, $\eta_{\text{мульти}}$ — КПД мультипликатора (при его отсутствии $\eta_{\text{мульти}} = 1,0$); ρ — удельная плотность воздуха при 18 °С, $\rho = 1,225$ кг/м³; $S_{\text{ом}}$ — площадь максимального сечения и ротора, м²; R — радиус ветроколеса (ВК).

Как видно из формулы (1), выходная мощность ВЭУ зависит только от площади, ометаемой ветроколесом (то есть от его радиуса), коэффициента преобразования энергии ветра, который зависит от профиля лопастей, плотности воздуха, КПД генератора при прямом приводе генератора ветроколесом и куба скорости ветра. Следует отметить, что мощность, развиваемая ВЭУ, практически не зависит от числа лопастей.

УДК 621.311.24. Научная специальность: 05.14.08.

Особенности запуска однолопастных ветроэнергетических установок малой мощности

С. В. Грибков, к.т.н., академик [Российской инженерной академии \(РИА\)](#), г. Москва), учёный секретарь Комитета по проблемам использования возобновляемых источников энергии [Российского Союза научных и инженерных обществ](#) (Комитет ВИЭ [РосСНИО](#)), генеральный директор [НИЦ «Виндэк»](#) (г. Подольск, Московская область)

В статье рассматривается конструкция однолопастной ветроэнергетической установки (ВЭУ) малой мощности. Исходя из основной формулы зависимости выходной мощности от геометрии ветроколеса показана независимость выходной мощности от числа лопастей ВЭУ, рассмотрена конструкция однолопастной ВЭУ со стартерным запуском ветроколеса от генератора, работающего в режиме вентильного двигателя и запуск ВЭУ в конструкции с носым карданом. Приводятся математическое обоснование конструкции и зависимости пусковых углов лопасти однолопастной ВЭУ от конструкции носого кардана.

Ключевые слова: ветроэнергетические установки малой мощности, однолопастная ветроэнергетическая установка, ветроколесо, конструкция однолопастной ветроэнергетической установки, угол установки лопасти, регулятор пусковых углов лопасти, балансировка ветроколеса.

UDC 621.311.24. The number of scientific specialty: 05.14.08.

Features of start-up of small wind turbine with single-blade

S. V. Gribkov, PhD, Academician of the [Russian Engineering Academy \(REA\)](#), scientific secretary of the Committee on the Problems of the Use of Renewable Energy Sources of the [Russian Union of Scientific and Engineering Societies \(RES\)](#) Committee of [RosSNIU](#), general director of ["WindEq Technical Center"](#), LLC (Podolsk city, Moscow Region)

The article discusses the design of a single-blade small wind turbine (SWT). Based on the main formula of the dependence of the output power on the geometry of the wind plant, the independence of the output power from the number of SWT blades is shown, the design of a single-blade SWT with starter start of the wind wheel from a generator operating in the valve engine mode and the launch of the SWT in the design with an oblique cardan is considered. The mathematical justification of the method is given and the dependencies of the starting angles of the blade of the single-blade SWT on the design of the oblique gimbal are given.

Key words: small wind turbine, single-blade wind turbine, wind wheel, single-blade wind turbines design, blade mounting angle, blade starting angle regulator, wind wheel balancing.

Анализ современных конструкций горизонтально-осевых ВЭУ малых и средних мощностей отечественного и зарубежного производства показывает, что все существующие ветроустановки имеют три или две лопасти [4]. Практически не встречаются однолопастные ВЭУ, хотя их конструкция позволяет иметь не худшие характеристики при более низкой стоимости, меньших габаритах и массе в упакованном виде, что, безусловно, представляет особенный интерес для указанных выше групп потребителей.

Сложность применения однолопастных ВЭУ связана прежде всего с тем, что, несмотря на кажущуюся их простоту, они с трудом запускаются.

В настоящей статье предлагается техническое решение, которое обеспечивает надёжный запуск однолопастных ВЭУ при любых скоростях ветра всего рабочего диапазона ВЭУ от 2 до 60 м/с.

Для проектирования однолопастных ВЭУ необходимо знать зависимости размера лопасти ветроколеса от мощности и частоты вращения ветроколеса n для выбора или проектирования генератора [1–4] исходя из выбранной быстроходности ветроколеса Z и расчётной скорости ветра v_p :

$$Z = \frac{\omega R}{v_p} = \frac{\pi n R}{30 v_p} \quad (2)$$

Конструкция однолопастной ВЭУ

Типовая конструкция однолопастной ветроустановки представлена на рис. 1. Основным её элементом является наличие одной лопасти 1, крепящейся на переходнике 5, насаженном на вал 6 генератора 4, и балансирующего груза 8, перемещающегося по резьбе переходника при статической балансировке ветроколеса. Крепление маха лопасти на переходнике осуществляется с помощью спецштифта 3.

Однолопастные ВЭУ из-за несимметричности конструкции или не имеют пускового момента вообще, или он слишком мал, что не позволяет им запускаться при малых скоростях ветра от 2,0 до 3,5 м/с. Запуск ветроколеса с одной лопастью или несколькими лопастями без крутки (или с малой круткой) возможен за счёт применения стартового режима генератора ВЭУ. Обычно в качестве генератора ВЭУ применяются синхронные магнитоэлектрические генераторы, которые сравнительно легко перевести в режим полупериодного вентильного двигателя без датчика положения ротора. В таких двигателях информацию о положении ротора можно снимать с фаз ротора в неработающий полупериод ЭДС вращения [5].

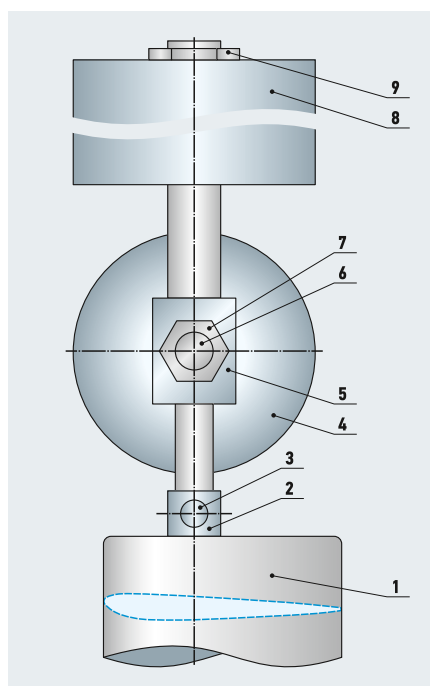


Рис. 1. Конструкция ветроколеса однолопастной ВЭУ (1 — лопасть; 2 — мах лопасти; 3 — штифт крепления лопасти; 4 — генератор; 5 — переходник крепления лопасти к генератору; 6 — вал генератора; 7 — гайка крепления переходника к валу генератора; 8 — уравнивающий груз; 9 — гайка крепления груза)

Существует и другой способ запуска системы «ветроколесо — генератор» ветроэнергетической установки — за счёт установления лопасти под действием ветра на пусковой угол. Реализовать такой способ изменения угла атаки возможно за счёт применения так называемого «косого кардана», имеющего шарнирное крепление к корпусу генератора.

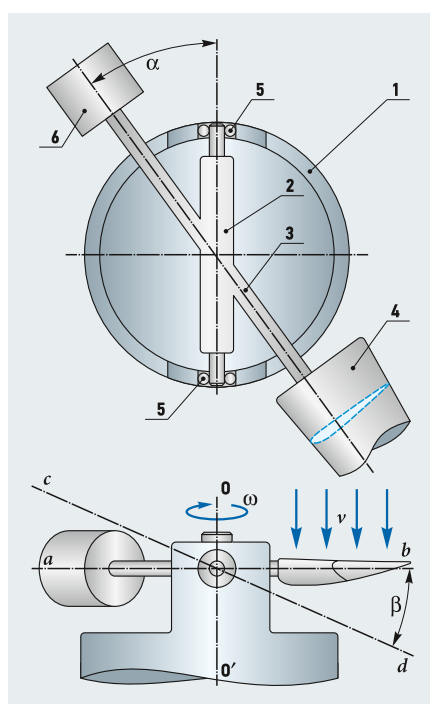


Рис. 2. Регулятор пускового угла однолопастной ВЭУ (1 — корпус генератора; 2 — кардан; 3 — мах лопасти; 4 — лопасть; 5 — подшипники кардана; 6 — балансирующий груз)

На рис. 2 показана принципиальная конструкция однолопастного ветроколеса, включающего: кардан 3, свободно качающийся в медно-графитовых подшипниках 5; мах 3, находящийся под углом α к оси вращения кардана; лопасть 4; балансирующий цилиндрический груз 6, имеющий возможность перемещаться по резьбе. Система «лопасть — мах — груз» крепится к корпусу генератора обращённой конструкции или к переходному устройству, крепящемуся к генератору, который, в свою очередь, приводится во вращение лопастью ветроколеса ВЭУ.

Такая конструкция обеспечивает при ветре, имеющем скорость от 0,5 до 2 м/с, отклонение системы «лопасть — мах — груз» по ветру на угол β и установку лопасти под большим углом атаки φ (положение по оси с–d), что, в свою очередь, обеспечивает уверенный запуск ветроколеса даже при таких малых скоростях ветра.

После начала вращения ветроколеса плоскость его вращения занимает положение а–b, перпендикулярное оси вращения ротора генератора О–О’.

Сложность применения однолопастных ВЭУ связана прежде всего с их трудным запуском. Однолопастные ВЭУ из-за несимметричности конструкции либо не имеют пускового момента вообще, либо он слишком мал, что не позволяет им запускаться при малых скоростях ветра

Рассмотрим подробно работу однолопастной ВЭУ с устройством установки лопасти на большие пусковые углы.

Свободнокачающееся ветровое колесо состоит из косоугольного кардана 2, установленного в подшипниках 5, помещённых в подшипниковые гнезда стоек корпуса генератора 1. Под углом α сквозь кардан проходит запрессованный в тело кардана стержень 3, с одной стороны которого крепится лопасть 4, на другом же конце стержня находится балансирующий цилиндрический груз 6, который можно перемещать по резьбе при статической балансировке ветроколеса.

При отсутствии ветра положение системы «лопасть — мах — кардан — балансирующий груз» занимает любое произвольное положение. При возникновении ветра ветроколесо с помощью хвостового оперения ориентируется на ветер, который давит на лопасть и переводит всю указанную систему в положение, совпадающее с осью с–d.

При этом лопасть ветроустановки совершает сложное движение и занимает положение с углом атаки φ , что позволяет системе «лопасть — мах — кардан — груз — корпус генератора» начать вращаться вокруг оси $O-O'$. При этом плоскость вращения лопасти занимает положение, перпендикулярное оси вращения генератора. Лопасть установлена под углом атаки, обеспечивающим интенсивный разгон ветроколеса и генератора до требуемой расчётной или номинальной частоты вращения, при которой генератор выдаёт положенную паспортную мощность, определяемую формулой (1).

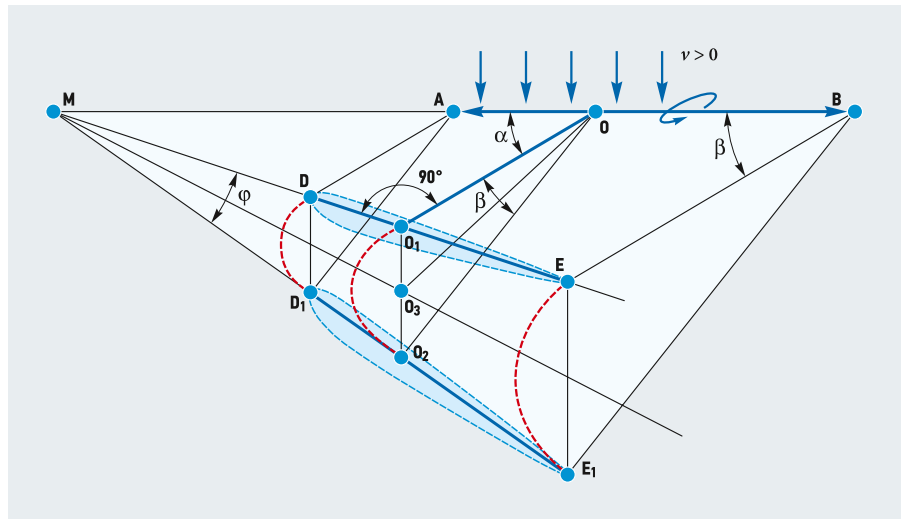
Обязательным условием устойчивой работы однолопастной ВЭУ является балансировка ветроколеса. Как показывает опыт разработки и эксплуатации однолопастных ВЭУ, для их стабильной работы без вибраций достаточно проведение статической балансировки ветроколеса на ножах перед установкой его в подшипниковый узел. Масса балансировочного груза и его положение определяется условием равновесия системы «лопасть — мах — кардан — груз»

На рис. 2 ось $a-b$ соответствует положению системы «лопасть — мах — груз» при вращении ветроколеса под действием ветра. При этом угол атаки лопасти φ соответствует оптимальному углу разбега ветроколеса, а ось $c-d$ соответствует положению отклонения лопасти под действием ветра, при этом угол φ соответствует пусковым углам ветроколеса. Положение лопасти при отсутствии ветра может быть любым (произвольным), и будем считать, что угол установки лопасти не позволяет ветроколесу трогаться.

Для определения зависимости между конструкционным углом между карданом и стержнем — махом лопасти α , углом отклонения лопасти под действием ветра β необходимо рассмотреть геометрическую модель регулятора, представленную на рис. 3.

Рассмотрим два положения маха ветроколеса ВЭУ. Первое — при отсутствии ветра ($v = 0$): DE — хорды лопасти при отсутствии ветра; AB — ось кардана; $O-O'$ — мах; α — угол между махом и карданом.

Положение лопасти при скорости ветра $v > 0$: β — угол отклонения лопасти; D_1E_1 — хорда лопасти; φ — пусковой угол лопасти.



•• Рис. 3. Геометрическая модель регулятора пусковых углов однолопастной ВЭУ

Для нашего доказательства рассмотрим сферический равнобедренный треугольник OO_1O_2 с углом при вершине O (угол O_1OO_2 равен углу β) и равнобедренный треугольник O_1MO_2 , который имеет угол при вершине φ .

Проведём биссектрисы углов O_1OO_2 и O_1MO_2 — OO_3 и MO_3 , которые в силу равнобедренности треугольников OO_1O_2 и O_1MO_2 будут и высотами, образуя угол 90° с основанием O_1O_2 .

Длина маха $O-O_1$ известна и равна a , то есть имеет место:

$$O-O_1 = a. \quad (3)$$

Рассмотрим прямоугольные треугольники O_1OO_3 и O_1O_3M . Углы при вершинах M и O равны, соответственно:

$$O_3MO_1 = \frac{\varphi}{2} \text{ и } O_1OO_3 = \frac{\beta}{2}. \quad (4)$$

Тогда, решая треугольники, можно вывести из треугольника O_1OO_3 :

$$O_1O_3 = OO_1 \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) = a \sin\left(\frac{\beta}{2}\right). \quad (5)$$

Из треугольников OMO_1 и O_1MO_3 найдём вначале MO_1 , а затем O_1O_3 :

$$MO_1 = OO_1 \tan(\alpha) = a \tan(\alpha); \quad (6)$$

$$O_1O_3 = MO_1 \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) = a \tan(\alpha) \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right). \quad (7)$$

Приравняв правые части (5) и (7), можно записать:

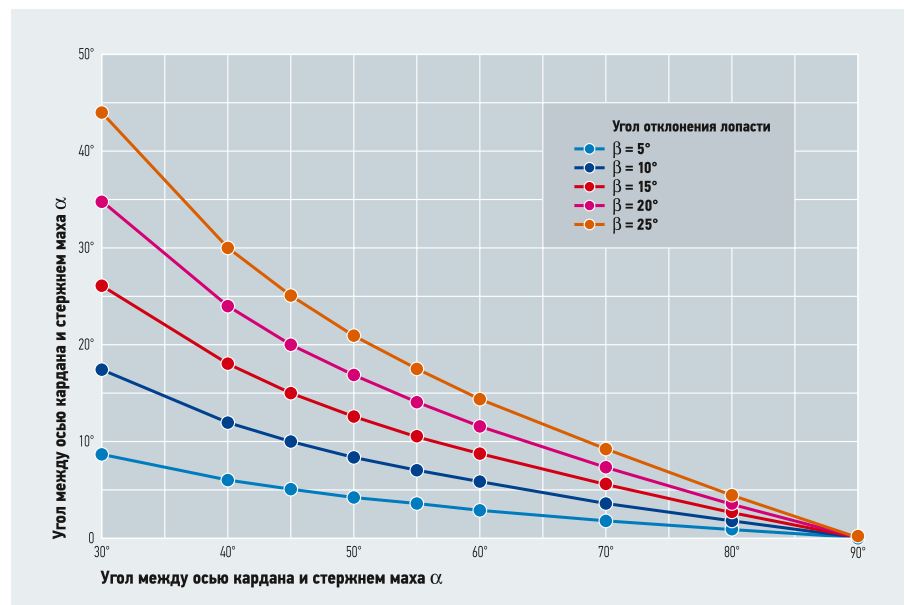
$$a \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) = a \tan(\alpha) \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right), \quad (8)$$

из (8) можно получить углы φ и α :

$$\varphi = 2 \arcsin \left[\frac{\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)}{\tan(\alpha)} \right]; \quad (9)$$

$$a = \arctan \left[\frac{\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)} \right]. \quad (10)$$

Расчётные зависимости между конструкционными углами α , предельным углом отклонения лопасти β и пусковым углом φ представлены в табл. 1 и на рис. 4.



•• Рис. 4. Зависимость пускового угла однолопастной ВЭУ от конструкционного угла α между осями маха и кардана

Анализ графических зависимостей пусковых углов φ (рис. 4) от конструктивных углов между осью кардана и стержнем маха α , а также предельным углом отклонения лопасти под действием ветра β позволяет выбрать их оптимальные значения для обеспечения надёжного запуска ветроколеса.

Обязательным условием устойчивой работы однолопастной ВЭУ является балансировка ветроколеса. Как показывает опыт разработки и эксплуатации однолопастных ВЭУ, для их стабильной работы без вибраций достаточно проведение статической балансировки ветроколеса на ножах перед установкой его в подшипниковый узел корпуса генератора.

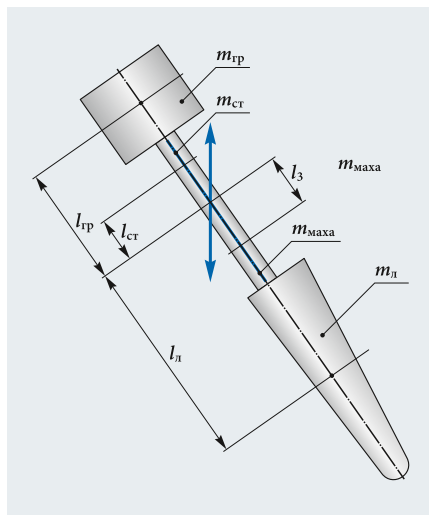


Рис. 5. Упрощённая схема ветроколеса однолопастной ВЭУ



Зависимость пусковых углов лопасти φ от углов наклона маха α и углов конструктивного угла отклонения лопасти β табл. 1

α , град.	β , град.	φ , град.	α , град.	β , град.	φ , град.	α , град.	β , град.	φ , град.	α , град.	β , град.	φ , град.	α , град.	β , град.	φ , град.
90	25	0,0	90	20	0,0	90	15	0,0	90	10	0,0	90	5	0,0
80	25	4,4	80	20	3,5	80	15	2,6	80	10	1,8	80	5	0,9
70	25	9,1	70	20	7,3	70	15	5,5	70	10	3,6	70	5	1,8
60	25	14,4	60	20	11,5	60	15	8,7	60	10	5,8	60	5	2,9
55	25	17,5	55	20	14,0	55	15	10,5	55	10	7,0	55	5	3,5
50	25	20,9	50	20	16,8	50	15	12,6	50	10	8,4	50	5	4,2
45	25	25,0	45	20	20,0	45	15	15,0	45	10	10,0	45	5	5,0
40	25	29,9	40	20	23,9	40	15	17,9	40	10	11,9	40	5	6,0
30	25	44,1	30	20	35,0	30	15	26,1	30	10	17,4	30	5	8,7

Масса балансировочного груза и его положение определяется условием равновесия системы «лопасть — мах — кардан — груз» из уравнения равенства моментов с одной стороны и от оси поворота кардана — с другой [6], в соответствии с упрощённой схемой ветроколеса однолопастной ВЭУ (рис. 5):

$$m_{гр} + m_{ст} = m_{маха} + m_{л}; \quad (11)$$

$$m_{гр}l_{гр} + m_{ст}l_{ст} = m_{маха}l_{маха} + m_{л}l_{л}, \quad (12)$$

где $m_{гр}$ — масса груза, кг; $m_{ст}$ — масса стержня, кг; $m_{маха}$ — масса маха, кг; $m_{л}$ — масса лопасти, кг; $l_{гр}$ — расстояние от центра вращения до центра масс груза, м; $l_{ст}$ — расстояние от центра вращения до

центра масс стержня груза, м; $l_{маха}$ — расстояние от центра вращения до центра масс маха, м; $l_{л}$ — расстояние от центра вращения до центра масс лопасти, м.

Выводы

1. Выходная мощность горизонтально-осевых ВЭУ не зависит от числа лопастей ветроколеса.
2. Запуск ветроколеса однолопастной ВЭУ возможен как от генератора, работающего в стартерном режиме, так и с помощью качающегося регулятора пусковых углов с косым карданом.
3. Для устойчивой работы однолопастной ВЭУ без вибраций и устранения дис-

баланса необходима и достаточна статическая балансировка ветроколеса в составе «лопасть — балансировочный груз» на ножах до установки ветроколеса в подшипники корпуса генератора.

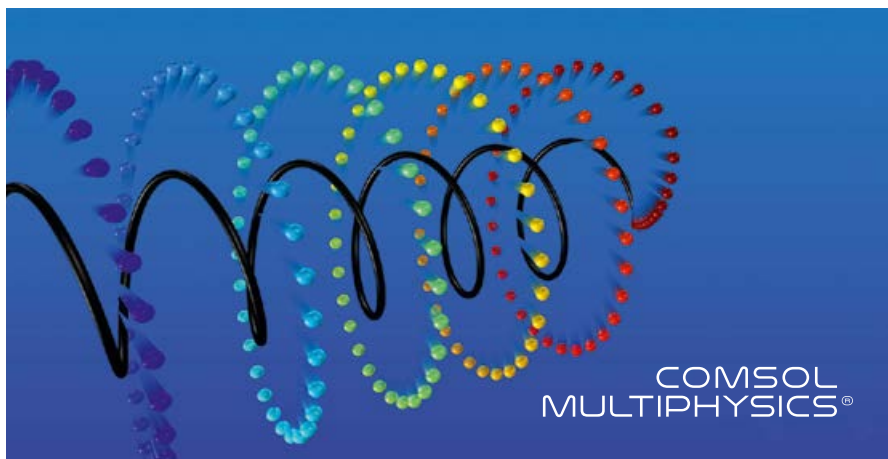
4. Величина пусковых углов лопасти однолопастной ВЭУ фиксированная и зависит от угла между осью кардана и осью маха лопасти, а также предельного угла отклонения лопасти под действием ветра, заложенных в конструкцию регулятора. ●



Ветроэлектрическая установка ВЭУ-0,8 производства ООО «НИЦ «Виндэк»

1. Фатеев Е.М. Ветро двигатели и ветроустановки. — М.: Сельхозгиз, 1957. 545 с.
2. Manwell J.F., McGowan J.G., Rogers A.L. Wind energy explained: Theory, design, and application. 2nd Edition. John Wiley & Sons. 2010. 704 p.
3. Грибков С.В., Русаков А.М., Сугробов А.М., Теталь А. Вопросы оптимального проектирования ветроэнергетических установок малой мощности. Электрические генераторы ветроустановок малой мощности // Новое в российской энергетике, 2021. №4. С. 17–36.
4. Грибков С.В. Развитие малой ветроэнергетики в мире и России. Комплексы гарантированного электроснабжения / Альтернативная энергетика в регионах России: Мат. молодёжн. науч. конф. (г. Астрахань, 5–7.12.2018); под ред. Л.Х. Зайнутдиновой и М.Г. Тягунова. — Астрахань: Изд. Сорокин Р.В., 2018. 304 с.
5. Мелихов Н.Н., Морозов В.А. Учебное пособие по курсу «Проектирование ЭЛА»: Системы управления вентиляционными двигателями автономных объектов / Под ред. В.С. Павлихина. — М.: Изд-во МЭИ, 1981. 95 с.
6. Теория механизмов и механика машин: учебник для вузов / Г.А. Тимофеев, А.К. Мусатов, С.А. Попов, К.В. Фролов; под ред. Г.А. Тимофеева. Изд. 8-е, перераб. и доп. — М.: Изд-во МГТУ, 2017. 566 с.

References — see page 80.



Моделирование и оптимизация в **COMSOL Multiphysics** мачт малых ветроэнергетиче- ских установок

Введение

Широкое применение малых ВЭУ в частном секторе и других отраслях хозяйства страны требует решения задач создания надёжных типовых сборочных конструкций «фундамент — мачта» ВЭУ, а также разработки и совершенствования методик и алгоритмов их оптимизации по параметрам надёжности, устойчивости и материалоемкости. Снижение материалоемкости продукции — одно из главных направлений повышения эффективности в промышленности и строительстве, так как затраты на материалы составляют, как правило, более половины стоимости продукции этих отраслей [1]. В полной мере это относится к развивающейся в настоящее время отрасли возобновляемой энергетики, в частности, ветроэнергетике.

Поскольку в современных условиях отмечается постоянный рост стоимости строительных объектов, успешные проектные решения должны отличаться эффективностью на всех этапах разработки и включать процедуры минимизации затрат, в том числе на использование конструкционных материалов.

Подобные решения достигаются на основе предварительной проработки научно-технических этапов проектирования с ис-

пользованием стандартных методик и алгоритмов [2, 3] или, что предпочтительнее, с помощью математического моделирования, например, на основе ПО [COMSOL Multiphysics](#), которое предназначено для моделирования и исследования научных и инженерных задач [4], что способствует созданию рациональных конструкций и обеспечивает математически обоснованную оптимизацию эффективности их функционирования.

Моделирование рациональной конструкции мачты ВЭУ — это прежде всего определение соответствия её надёжности техническим и эксплуатационным требованиям. Надо стремиться обеспечивать наименьший вес и размеры конструкции путём выбора оптимальных форм и геометрии её элементов. В связи с этим конструктивные узлы мачты для малых ВЭУ желательно создавать из лёгких конструктивных элементов, например, стальных тонкостенных трубчатых. В то же время конструкция мачты должна прежде всего отвечать требованиям необходимой жёсткости, прочности и устойчивости.

В зависимости от значений внешних воздействий мачта может находиться в устойчивом или неустойчивом состоянии равновесия.

Рецензия эксперта на статью получена 10.02.2022 [The expert review of the article received on February 10, 2022].

УДК 620.93. Научная специальность: 05.14.08.

Моделирование и оптимизация в **COMSOL Multiphysics** мачт малых ветроэнергетических установок

В. А. Сучилин, д.т.н., профессор; **А. С. Кочетков**, старший преподаватель; **Н. Н. Губанов**, старший преподаватель, [Российский государственный университет туризма и сервиса](#) (РГУТиС, дп. Черкизово Московской области)

Надёжность мачт ветроэнергетических установок (ВЭУ) задаётся на основе предварительной проработки научно-технических этапов проектирования с помощью компьютерного моделирования. На основании изучения некоторых методик применения ПО, используемого при разработке подобных изделий, сделаны выводы, что они не в полном объёме содержат исследования по таким характеристикам, как оценка критических нагрузок, напряжений и устойчивости. Проведено моделирование и оптимизация мачты малой ВЭУ в ПО **COMSOL Multiphysics**. Представлены результаты исследования и сделаны практические предложения.

Ключевые слова: ветроэнергетические установки малой мощности, надёжность мачт ветроэнергетических установок, критические нагрузки, потеря устойчивости, линейный анализ устойчивости, параметрический анализ устойчивости, структурная оптимизация, моделирование устойчивости мачт в **COMSOL Multiphysics**.

UDC 620.93. The number of scientific specialty: 05.14.08.

Modeling and optimization in **COMSOL Multiphysics** of the masts of small wind power plants

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 \(RGUTIS, dp. Cherkizovo, Moscow region\)](#)

The dependability of the masts of wind power plants (WPP) is set based on the preliminary study of the scientific and technical stages of design using computer simulation. Based on the study of some methods of use of software used in the development of similar products, conclusions are made that they are not in full comprise research on such characteristics as an assessment of critical loads, stresses and stability. Modeling and optimization of masts small WPPs in **COMSOL Multiphysics** has been carried out. The results of the study are presented and practical proposals are made.

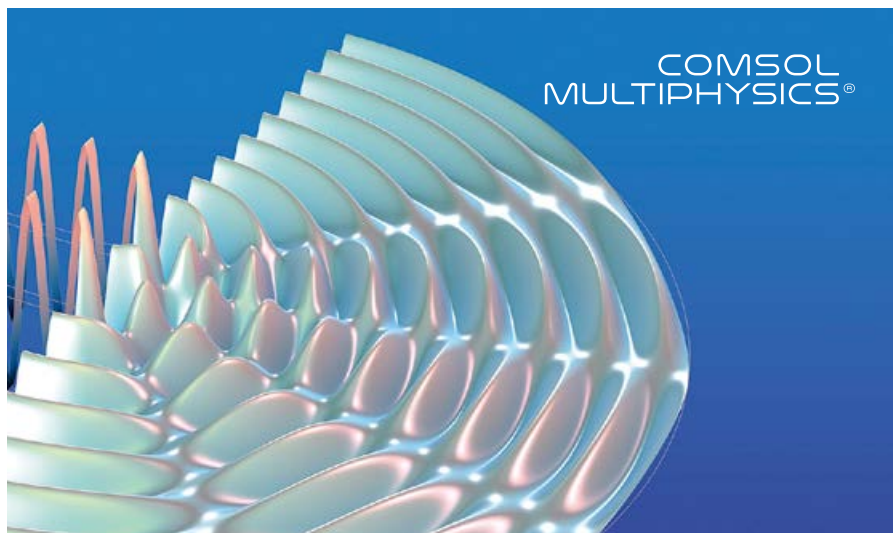
Key words: small wind power plants, dependability of the masts of wind power plants, critical loads, loss of stability, linear analysis of stability, parametric analysis of stability, structural optimization, modeling the stability of the masts in **COMSOL Multiphysics**.

Равновесие является устойчивым, если деформированная мачта при любом малом отклонении от первоначального состояния после прекращения внешнего воздействия стремится за счёт сил упругости стальных элементов возвратиться к нему вновь. В случае неустойчивого равновесия деформированная мачта, выведенная из первоначального состояния каким-либо внешним воздействием, после его прекращения в исходное состояние не возвращается, то есть наступает новое состояние, возможно, критическое. До момента наступления критического состояния мачты, подвергшейся осевому сжатию под действием, например, силы тяжести груза, помещённого на верхней площадке, деформации растут незначительно и незаметно. Но вблизи критического состояния деформации нарастают крайне быстро, и практически нет времени для принятия мер по предотвращению разрушения.

Минимальная нагрузка, при которой система теряет устойчивость, называется критической. При расчёте на устойчивость критическая нагрузка является практически аналогом разрушающей нагрузки при расчёте на прочность. В целях безопасной работы мачты допускаемая нагрузка, естественно, должна быть меньше критической, то есть условие устойчивости в этом случае определяется как частное от деления критической нагрузки на коэффициент запаса устойчивости, который для большинства стальных конструкций принимают в интервале 1,5–3,0.

В данной статье показано, как смоделировать и обеспечить надёжность и безопасность мачты для малых ВЭУ методом конечных элементов (МКЭ), позволяющим прогнозировать с высокой точностью функционирование мачт малых ВЭУ в реальных условиях эксплуатации, установив влияние критических нагрузок в элементах мачты на потерю ею устойчивости. Подобные задачи можно решать с помощью линейного анализа потери устойчивости, простейшим примером которого является формула Эйлера для критической нагрузки потери устойчивости продольно сжатого стержня [5].

При расчёте напряжённо-деформированного состояния МКЭ система делится на определённое число элементов, соединённых между собой в узлах. Нагрузка, действующая на систему в целом, переносится в узлы. Это позволяет определять состояние системы через узловые усилия и перемещения конечно-элементной модели. Для каждого конечного элемента матричное уравнение $Ku = P$ связывает вектор узловых перемещений u с векто-



ром узловых нагрузок P с помощью матрицы жёсткости K . Физический смысл элемента k_{ij} этой матрицы — это реакция (реактивная сила), возникающая в i -м направлении от заданного единичного перемещения в j -м направлении.

После построения матриц жёсткостей всех элементов и определения векторов узловых нагрузок в общей системе координат формируется матрица полной жёсткости K и вектор нагрузки P всей системы. Уравнение $Ku = P$, связывающее перемещения системы u с нагрузкой P , по виду совпадает с матричным уравнением для отдельного элемента [5].

При моделировании рациональной конструкции мачты ветроэнергетических установок следует обеспечить наименьший вес и размеры конструкции путём выбора оптимальных форм и геометрии её элементов. Конструктивные узлы мачты для малых ВЭУ желательнее создавать из лёгких конструктивных элементов, например, стальных тонкостенных трубчатых

Линейный анализ потери устойчивости учитывает эффект изменения жёсткости системы с ростом напряжений, когда рост сжимающих напряжений приводит к снижению способности конструкции противостоять нагрузкам, действующим в поперечном направлении. По мере того, как растут напряжения сжатия, уменьшается сопротивление боковым силам. При некотором уровне нагрузки этот эффект превосходит влияние собственной линейной жёсткости системы, приводя к деформации выпучивания.

Матрицу полной жёсткости K в этом случае можно представить как сумму

$$K = K_L + K_{NL}(P),$$

где K_L — обычная матрица жёсткости для линейной задачи, K_{NL} — нелинейная добавка, зависящая от нагрузки P . В линейном приближении матрица K_{NL} пропорциональна нагрузке, то есть

$$K = K_L + \lambda K_{NL}(P).$$

Критерием потери прочности является вырожденность матрицы жёсткости, то есть равенство $\det(K) = 0$.

Таким образом, задача сводится к нахождению собственных значений матрицы полной жёсткости системы, в ходе которого значение приложенной нагрузки P_0 применяется для определения коэффициента λ критической нагрузки $P_c = \lambda P_0$. Среди собственных значений λ для матричного уравнения

$$[K_L + \lambda K_{NL}(P_0)]u = 0 \quad (1)$$

нижнее собственное значение λ является коэффициентом критической нагрузки, а соответствующая мода u описывает форму потери устойчивости [6].

Каждая критическая нагрузка связана с определённой модой, то есть формой изгиба конструкции, которая приводит к неустойчивости. Известно, что мачта как сложная конструкция может иметь несколько форм потери устойчивости и значений критических нагрузок [7]. Однако уже первая критическая нагрузка считается разрушающей, так как потерю устойчивости мачты под действием следующих критических нагрузок трудно проследить, потому что при увеличении силы осевого сжатия мачты выше критического значения, соответствующего первой форме неустойчивости, возникнут большие остаточные деформации, приводящие к необратимым явлениям в мачте и невозможности её эксплуатации.

На систему могут действовать постоянные нагрузки, например, гравитационные, линия действия которых перемещается вместе с конструкцией параллельно первоначальному направлению. Если учитывать вклад веса мачты Q , который остаётся постоянным при линейном анализе потери устойчивости, то основное уравнение (1) примет вид:

$$[K_L + K_{NL}(Q) + \lambda K_{NL}(P_0)]u = 0, \quad (2)$$

где дополнительная матрица $K_{NL}(Q)$ выражает нелинейную добавку к матрице жёсткости из-за гравитационной нагрузки.

В линейном анализе момент потери устойчивости рассматривается как точка бифуркации на кривой «нагрузка — деформация», так как в этой точке происходит разветвление форм равновесия. При этом конструкция мачты идеализируется как упругая, все контакты и свойства материалов считаются линейными, а также не учитываются эффекты больших перемещений без развития больших деформаций и напряжений. Эти факторы приводят к отсутствию «запаса» в решении и делают полученный коэффициент критической нагрузки завышенным. При нелинейном решении возможно учесть присущие реальной конструкции несовершенства и нелинейности (геометрические и физические) как начальные возмущения. Величина критической нагрузки, полученной при нелинейном подходе, обычно ниже той, которая определяется точкой бифуркации линейного решения.

Условия, в которых находятся реальные сжатые элементы конструкции мачты, во многом отличаются от идеализированных условий, принятых при анализе потери устойчивости по собственным значениям. На реальные изделия влияют начальная кривизна, нецентрированная нагрузка, остаточные напряжения и пластичность. Все эти факторы отрицательно сказываются на способности мачты к изгибу. Остаточные сжимающие напряжения вызывают преждевременную деформацию, и элементы неупруго изгибаются при нагрузке меньшей, чем критическая. Согласно стандарту EN 1993-1-1:2005 [8], в дополнение к линейному анализу потери устойчивости при решении МКЭ должен использоваться нелинейный анализ для расчёта более реалистичных нагрузок потери устойчивости и соответствия экспериментальным данным.

В то же время для прогнозирования спектра возможных форм деформаций моделируемой конструкции можно использовать динамический анализ МКЭ, реализованный в [COMSOL Multiphysics](#) в виде модального анализа. В статиче-

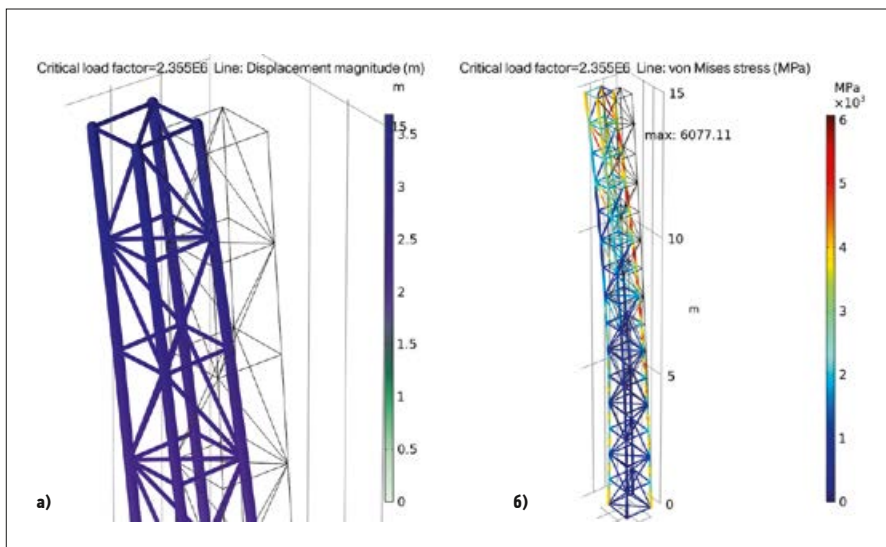


Рис. 1. Характеристики продольного изгиба мачты при первой критической нагрузке [а — деформация (смещение) элементов мачты (фрагмент в увеличенном масштабе); б — напряжения в элементах мачты]

ском исследовании мачты по модальному анализу определяют значения критических нагрузок, в динамическом же анализе оценивают формы и частоты собственных колебаний для сравнения с действием возбуждающей силы ветра и вращения ветроколеса.

Исследуемая модель и результаты

Геометрия исследуемой модели представляет собой коническую решётчатую мачту переменного сечения общей высотой 15 м, состоящую из 15 секций высотой 1 м, в форме усечённой пирамиды с квадратным основанием, сужающейся снизу вверх. Нижнее основание секции на фундаменте имеет сторону 1 м, а верхняя площадка мачты — сторону 0,6 м. Конструктивные элементы секций — трубчатые, причём угловые элементы (стойки) более толстые и имеют внешний диаметр 108 мм и толщину стенки 5 мм. Остальные элементы имеют внешний диаметр 35 мм и толщину стенки 2,5 мм. Материал — конструкционная сталь. Мачта закреплена на уровне земли на железобетонном фундаменте, а к верхней площадке прилагается вертикальная нагрузка P , распределённая по угловым точкам, так что на каждую приходится по $\frac{1}{4}$ нагрузки. Учтена также гравитационная нагрузка Q от массы (1051,4 кг) самой мачты.

За основу моделирования мачты ВЭУ взята методика [9] для прямоугольной мачты постоянного сечения, где исполь-

зуется интерфейс Truss с решателем Linear Buckling, но не учитывается вес мачты. Напряжённое состояние, обусловленное исключительно постоянной нагрузкой Q , вычисляется на этапе стационарного исследования. Затем на этапе исследования потери устойчивости в узле Weak Contribution вклад тензора напряжений постоянной нагрузки добавляется как множитель к квадратичным членам тензора деформации. Таким образом, хотя для расчёта критической нагрузки учитывается сочетание двух типов нагрузок, коэффициент критической нагрузки λ применяется только к нагрузке P .

Результатом первого этапа исследования (рис. 1) является получение критических нагрузок потери устойчивости, деформаций мачты и напряжений в элементах конструкции с использованием метода линейного анализа устойчивости по приведённым выше формулам.

На рис. 1а показаны деформации элементов мачты для первого коэффициента критической нагрузки $\lambda = 2,35 \times 10^6$. Вычисленные наибольшие смещения от первоначального положения равны 0,007 м вдоль оси Ox , 2,609 м вдоль оси Oy и $-0,177$ м вдоль оси Oz . Таким образом, направление отклонения от вертикальной оси очень близко к оси Oy , а форма продольного изгиба составляет $\frac{1}{4}$ волны синусоиды. Это первая мода устойчивости мачты, соответствующая критической нагрузке $2,35 \times 10^6$ Н. Следующая критическая нагрузка, соответствующая второй моде устойчивости мачты, равна $2,36 \times 10^6$ Н. Но, как было отмечено выше, уже первая критическая нагрузка приводит мачту в неработоспособное состояние, а последующие критические нагрузки не имеют практического применения, так что дальнейший анализ, как правило, проводят по первой моде.

На реальные изделия влияют начальная кривизна, нецентрированная нагрузка, остаточные напряжения и пластичность. Все эти факторы отрицательно сказываются на способности мачты к изгибу

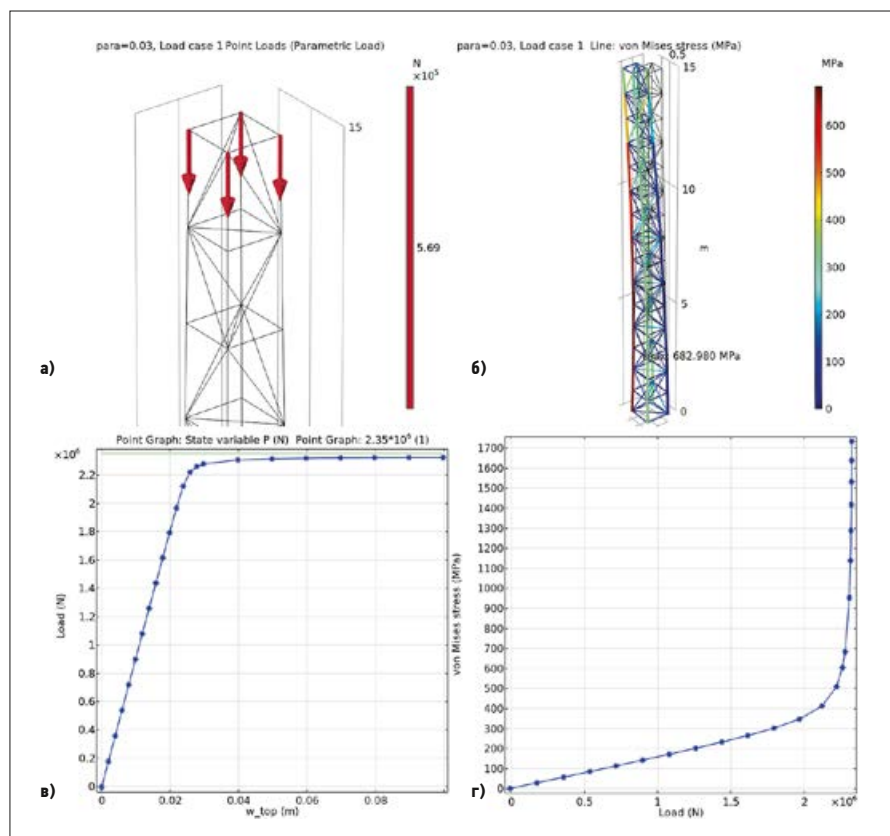


Рис. 2. Характеристики продольного изгиба мачты при параметрическом приближении нагрузки к критической [а — нагрузка на верхнюю площадку мачты (фрагмент в увеличенном масштабе); б — напряжения в элементах мачты; в — величина нагрузки на верхней площадке в зависимости от вертикального смещения; г — наибольшее напряжение в элементах мачты в зависимости от нагрузки на верхней площадке]

На рис. 1б показаны напряжения в элементах мачты при первой критической нагрузке. Видно, что элементы мачты напряжены неравномерно.

Правая дальняя боковая стойка и некоторые наклонные трубчатые элементы мачты напряжены значительно больше других. Максимальное значение напряжения составляет 6077 МПа. В то же время другие элементы мачты недогружены. Вызвано это не только направлением изгиба мачты и значительным запасом прочности, но также и тем, что не учитываются нелинейности деформаций элементов конструкции мачты, в том числе возможные деформации кручения.

При добавлении начального возмущения к модели, геометрия которой чувствительна к дефектам, максимальная нагрузка потери устойчивости может существенно снизиться. В качестве заданного дефекта можно использовать предварительно вычисленную форму моды потери устойчивости, так как структура модели наиболее чувствительна именно к этой форме. Величина возмущения должна примерно соответствовать ожидаемым значениям для реальной структуры с учётом технологических допусков и условий эксплуатации. Поэтому дальнейшее исследование проводилось для геометрии с начальной деформацией по первой моде (рис. 1а) с коэффициентом подобия 1/400.

Учитывая, что данная мачта предназначена для малых ВЭУ, общая масса технического блока в сборке из генератора, редуктора, инвертора и других узлов принимается равной 500 кг.

Второй этап оценки устойчивости мачты под действием реальной нагрузки проводится методом параметрического приближения нагрузки к критической. В качестве управляющего параметра выбрано усреднённое вертикальное смещение элементов верхней площадки при продольном изгибе мачты. В интерфейсе Truss добавляется глобальное уравнение, по которому значение нагрузки вычисляется для каждого шага параметра.

Результатом второго этапа исследования (рис. 2) является изменение упругих характеристик, ведущее к потере устойчивости мачты при параметрическом приближении нагрузки к критической. На рис. 2а показана нагрузка в каждой из угловых точек верхней площадки мачты при значении управляющего параметра 0,03. Она равна $5,69 \times 10^5$ Н. Суммарная нагрузка $2,28 \times 10^6$ Н незначительно ниже критической $2,35 \times 10^6$ Н, найденной на первом этапе. Но для оценки состояния мачты важны также величины критических напряжений её элементов, так как метод расчёта учитывает не только нагрузки при продольном изгибе мачты, но также возможные нелинейные факторы.

На рис. 2б показаны напряжения в элементах мачты под действием данной нагрузки. Максимальное значение напряжения — 683 МПа. Это значительно ниже напряжения, найденного на первом этапе (6077 МПа). Наклон мачты определяется заданной деформацией геометрии и близок к оси Oy . Элементы мачты напряжены неравномерно, но произошло некоторое перераспределение напряжений по сравнению с рис. 1б. В целом можно отметить, что при учёте возможных нелинейных воздействий на мачту, скручивания её элементов и дефектов формы снижаются критические напряжения её элементов, то есть их значения приближаются к реальным характеристикам напряжённо-деформированного состояния мачты.

На рис. 2в при различных значениях управляющего параметра даётся график величины нагрузки в зависимости от вертикального смещения одной из точек верхней площадки. Видно, что эта зависимость остаётся линейной до значения управляющего параметра 0,024 (в пределах области пропорциональности конструкционной стали мачты), которому соответствует нагрузка $2,12 \times 10^6$ Н. Далее в зоне упругости нагрузка возрастает примерно до $2,28 \times 10^6$ Н. После достижения предела упругости, в области текучести, она изменяется медленно, асимптотически приближаясь к критической нагрузке в $2,35 \times 10^6$ Н, что соответствует результату первого этапа исследования.

На рис. 2г при различных значениях управляющего параметра показан график величины наибольшего напряжения в элементах мачты в зависимости от нагрузки на верхней площадке. Видно, что при равномерном росте нагрузки так же равномерно растёт и напряжение в элементах мачты. При нагрузке в $2,28 \times 10^6$ Н наибольшее напряжение равно 683 МПа, а далее незначительный рост нагрузки приводит к быстрому росту напряжения в элементах мачты, что характерно для этапа текучести конструкционной стали.

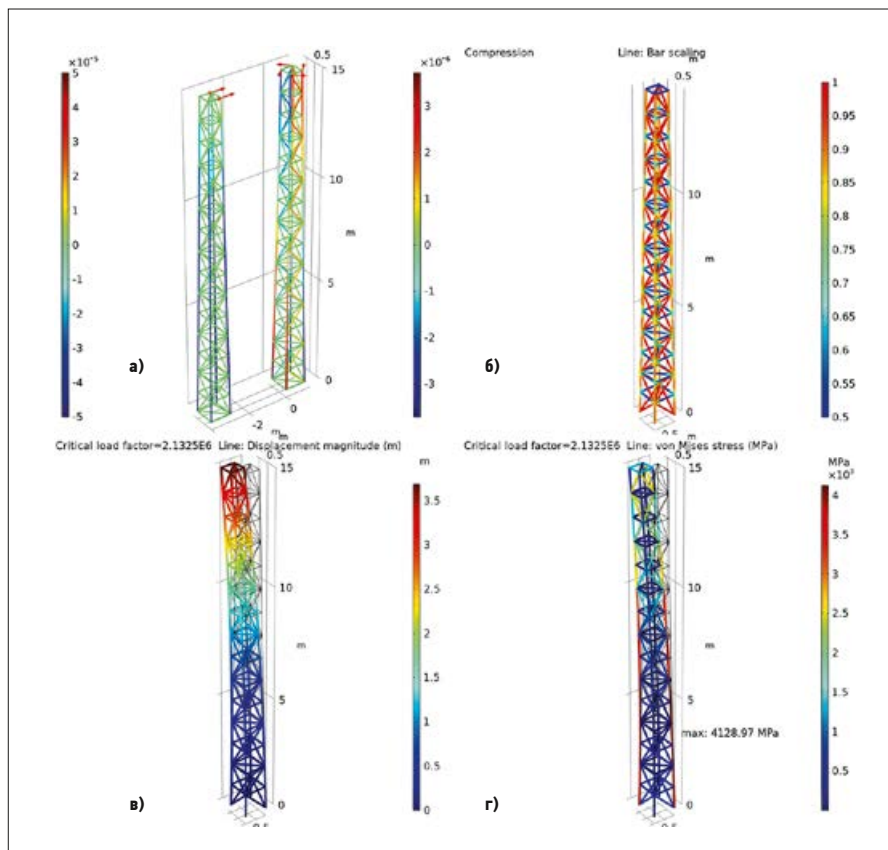
Участки графиков изменения нагрузки и напряжения элементов мачты за пределами зоны упругости в данной задаче подробно не рассматриваются, так как они характеризуются возникновением пластических явлений в элементах мачты, то есть необратимых изменений. Тем более что результаты, соответствующие условиям нормального функционирования мачты, показывают, что заданная первоначальная прочность мачты всё же несколько избыточна. Следовательно, возможно завышена и металлоёмкость мачты. В связи с этим необходимо провести оптимизацию конструкции мачты.

Третьим этапом моделирования устойчивости мачты является процесс оптимизации конструкции по критерию снижения металлоёмкости мачты при условии сохранения напряжённого состояния элементов конструкции в области упругости конструкционной стали. В этом случае при незначительных деформациях под действием внезапного роста действующей нагрузки, например, при порывах ветра, мачта будет возвращаться в устойчивое вертикальное состояние. Среди деформаций, которым подвержены элементы мачты, можно выделить деформации изгиба и деформации кручения, а среди возможных нагрузок — изгибающие, нагрузки кручения и сжимающие. Некоторые элементы конструкции могут быть более чувствительны к одним типам нагрузок и менее чувствительны к другим. То есть скорости роста деформаций изгиба и кручения различны и зависят от изменения определённого типа нагрузки как параметра.

Чувствительность можно математически рассматривать как производную некоторой величины по одному или нескольким входным параметрам. Анализ чувствительности является встроенной функцией [COMSOL Multiphysics](#) и может быть выполнен, например, по методике [10], где рассматривается прямоугольная мачта постоянного сечения. Количественной характеристикой деформации изгиба является угол наклона к оси Oy , а деформации кручения — угол закрутки относительно оси Oz . Изгибающая нагрузка и нагрузка кручения распределены по угловым точкам верхней площадки. При этом изменения различных типов нагрузок задаются одним управляющим параметром — коэффициентом масштабирования площади поперечного сечения элементов мачты. Таким образом, анализ чувствительности становится подготовительным этапом к оптимизации конструкции по толщине стенки трубчатых элементов, то есть по металлоёмкости.

На рис. 3 показаны результаты оптимизации мачты. На рис. 3а приводится оценка чувствительности угла наклона мачты к изгибающим нагрузкам и нагрузкам кручения.

Для случая изгибающей нагрузки (слева) видно, что при наклоне мачты чувствительными к параметру являются только угловые элементы (стойки). Наклон будет уменьшен, если они будут усилены, особенно в нижней части мачты. В случае скручивающей нагрузки (справа) наклон малочувствителен к изменению параметра, и только усиление стоек с одной стороны и ослабление с противо-



••• Рис. 3. Результаты оптимизации мачты [а — оценка чувствительности угла наклона мачты к нагрузкам; б — распределение параметра оптимизации по элементам мачты; в — деформация (смещение) элементов мачты при первой критической нагрузке; г — напряжения в элементах мачты]

положной может вызвать нежелательный наклон. Аналогично оценка чувствительности угла закрутки мачты показывает для изгибающей нагрузки, что чувствительными к закрутке являются только некоторые наклонные элементы мачты. Усилив диагональные элементы с одной стороны и ослабив с противоположной, можно получить нежелательную закрутку. Для скручивающей нагрузки закрутку можно уменьшить, если диагональные элементы будут усилены, особенно в верхней части мачты.

Таким образом, оценка чувствительности даёт предварительные рекомендации по оптимизации мачты и показывает возможные нежелательные последствия изменений конструкции.

Топологическая оптимизация структуры мачты проводится в [COMSOL Multiphysics](#) градиентным методом на основе методики [11], где решается только задача увеличения жёсткости конструкции без увеличения массы. Рассматриваются три типа нагрузок: изгибающие, нагрузки кручения и сжимающие.

Целевой функцией первой процедуры оптимизации является суммарная энергия упругих деформаций элементов мачты. Построенная конструкция обладает улучшенными прочностными характеристиками, но прежней массой. Поэтому при второй процедуре оптимизации суммарная энергия упругих деформаций

оптимизированной мачты становится условием, а масса — целевой функцией. Это позволит оптимизированной мачте сохранять устойчивое состояние при внешних воздействиях. Управляющий параметр оптимизации — коэффициент масштабирования площади поперечного сечения элементов мачты k — может принимать значения в интервале от 0,001 до 1,0 на каждом из элементов конструкции, что неприемлемо для практики. Поэтому на последнем этапе оптимизированную конструкцию нужно изменить, чтобы мачту можно было построить, используя, например, только три типа элементов со значениями $k = 0,5; 0,75; 1,0$.

На рис. 3б результат оптимизации показан как распределение управляющего параметра k на элементах мачты. Видно, что толщина угловых стоек и большинства диагональных элементов должна быть сохранена ($k = 1$), в то время как многие горизонтальные элементы можно сделать тоньше без потери прочности ($k = 0,5$). При этом масса конструкции снижается до 906,77 кг. Однако не все элементы оптимизированной геометрии можно принять для практической реализации. Например, согласно рис. 3б, нижнюю горизонтальную площадку можно удалить ($k = 0,001$), что означает, что угловые и диагональные элементы нижней секции мачты могут быть жёстко забетонированы в фундамент.

**18-21 мая 2022,
г. Ростов-на-Дону**

Международный форум



ARWE 2022
CONGRESS & EXPO

**ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ
ЭНЕРГЕТИКА**

**особенности российского
энергоперехода**

Однако это не технологично, так как мачта обычно устанавливается на готовый фундамент с помощью анкерных болтов, следовательно, нижняя площадка необходима и даже может быть усилена.

Результаты оптимизации можно проверить, выполнив линейный анализ потери устойчивости для оптимизированной модели. На рис. 3в показаны деформации элементов мачты для первого коэффициента критической нагрузки $\lambda = 2,13 \times 10^6$. Направление отклонения от вертикальной оси по-прежнему близко к оси Oy , а форма продольного изгиба составляет $\frac{1}{4}$ волны синусоиды. Это первая мода устойчивости мачты, соответствующая критической нагрузке $2,13 \times 10^6$ Н.

Следующая критическая нагрузка, соответствующая второй моде устойчивости мачты, равна $2,14 \times 10^6$ Н. Таким образом, они незначительно ниже нагрузок, полученных на первом этапе моделирования мачты ($2,35 \times 10^6$ и $2,36 \times 10^6$ Н).

На рис. 3г показаны напряжения в элементах мачты при первой критической нагрузке. Максимальное напряжение в элементах мачты равно 4129 МПа, что значительно ниже значения, полученного на первом этапе моделирования мачты 6077 МПа (рис. 1б). Причём точка, в которой зафиксировано максимальное напряжение, переместилась из верхней секции мачты в её нижнюю треть. Видно, что распределение напряжения по элементам мачты стало более равномерным.

Аналогичная проверка характеристик оптимизированной мачты параметрическим методом показала результаты, близкие к ранее полученным на втором этапе исследования. Так, при значении управляющего параметра 0,03, соответствующем пределу упругости, максимальное значение напряжения составляет 681,5 против 683 МПа.

В данной статье показана методика моделирования и оптимизации в **COMSOL Multiphysics** мачты малых ВЭУ одной формы (квадратного сечения). Однако её можно с успехом использовать при решении тех же задач для мачт других сечений (прямоугольного, треугольного и других), с другим соотношением нижнего и верхнего оснований и с различной массой технического блока на верхней площадке мачты, изменив только геометрическую модель. В модели можно учесть дополнительные элементы, например, использование растяжек для повышения устойчивости мачты. Следующим важным этапом моделирования и исследования подобных мачт может быть учёт динамических нагрузок от напора ветра на мачту и от вращающихся лопастей ветроколеса.

Заключение

1. Надёжность мачт ВЭУ задаётся и уточняется на различных этапах разработки. Так, на этапе проектирования расчёт надёжности мачты проводится с целью выбора оптимального варианта структуры и методов контроля работоспособности основных элементов. Предложено использовать для этого программное обеспечение **COMSOL Multiphysics**, позволяющее реализовывать методики исследования по характеристикам критических нагрузок, напряжений и устойчивости мачт, что соответствует их техническим и эксплуатационным требованиям.

Этап оптимизации включает процедуру определения чувствительности элементов мачты к росту различных типов нагрузки. Это позволяет ввести как управляющий параметр коэффициент масштабирования площади поперечного сечения и удалять из структуры мачты отдельные элементы

2. На основе моделирования в **COMSOL Multiphysics** предложена методика определения рациональной структуры мачты, включающая выбор конструктивной формы и геометрии её элементов, а также математически обоснованную оптимизацию по снижению металлоёмкости конструкции при сохранении показателей жёсткости, прочности и устойчивости функционирования.

3. Исследование построенной модели мачты с помощью линейного анализа потери устойчивости позволило определить критическую нагрузку конструкции, форму возможного изгиба мачты. Анализ напряжённого состояния в элементах показал связь напряжений в элементах мачты с направлением продольного изгиба мачты. Установлено, что часть трубчатых элементов мачты напряжена неравномерно, некоторые явно недогружены, кроме того, в целом отмечен значительный первоначальный запас прочности мачты.

4. Проведён второй этап оценки устойчивости мачты методом параметрического приближения к критической нагрузке под действием общей массы технического блока ВЭУ, размещённого на верхней площадке мачты. Установлено, что значение критической нагрузки, приводящей к необратимым явлениям в мачте, снизилось. Данный метод позволяет учитывать геометрические и физические нелинейности конструкции мачты, а также нали-

чие остаточных деформаций в элементах мачты. Однако отмечается ещё некоторая завышенность прочности мачты. В связи с этим осуществлена оптимизация по снижению металлоёмкости конструкции при сохранении показателей жёсткости, прочности и устойчивости функционирования мачты.

5. Этап оптимизации включает процедуру определения чувствительности элементов мачты к росту различных типов нагрузки. Это позволяет ввести как управляющий параметр коэффициент масштабирования площади поперечного сечения и удалять из структуры мачты отдельные элементы при сохранении величины суммарной энергии малых упругих деформаций конструкции в целом. Это обеспечивает сохранение устойчивости мачты при внешних воздействиях.

6. Проведены этапы проверки функциональных характеристик мачты по завершении процесса оптимизации. Все они значительно улучшены. В частности, показано, что критические напряжения, полученные при линейном анализе устойчивости в элементах мачты, стали ниже (4129 против 6077 МПа). Проведённая оптимизация мачты позволила обеспечить необходимую устойчивость при снижении металлоёмкости и сохранить её первоначальную прочность. ●

- ГОСТ Р 56615–2015. Ресурсосбережение. Показатели материалоемкости и материалоэффективности. Руководство по установлению критериев выбора. — М.: Стандартинформ, 2016. 28 с.
- Елистратов В.В., Константинов И.А., Панфилов А.А. Нагрузки на элементы ветроэнергетической установки, на её фундамент и основание: учебное пособие. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. 38 с.
- Абашева Л.П., Зуева И.И. Проектирование и расчёт стальных ферм покрытий из круглых труб: методические указания. — Пермь: Изд-во ПГТУ, 2009. 44 с.
- Сучилин В.А., Кочетков А.С., Губанов Н.Н. Моделирование и исследование в **COMSOL Multiphysics** коррозионного процесса арматуры железобетонных фундаментов малых ВЭУ // Журнал СОК, 2021. №10. С. 74–79.
- Макаров Е.Г. Сопротивление материалов на базе MathCAD. — СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 512 с.
- Sönnnerlind H. Buckling, when structures suddenly collapse. Web-source: comsol.com. Access data: January 30, 2022.
- Axisa R., Muscat M., Sant T., Farrugia R.N. Structural assessment of a lattice tower for a small, multi-bladed wind turbine. International Journal of Energy and Environmental Engineering. 2017. Vol. 8. Issue 4. Pp. 343–358.
- Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1-1: General structural rules and rules for buildings (BS EN 1993-1-1:2005). European Committee for Standardization. Web-source: en-standard.eu. Access data: January 30, 2022.
- Linear buckling analysis of a truss tower. **COMSOL Multiphysics** User's Guide. Web-source: comsol.com. Access data: January 30, 2022.
- Sensitivity analysis of a truss tower. **COMSOL Multiphysics** User's Guide. Web-source: comsol.com. Access data: January 30, 2022.
- Optimization of a truss tower. **COMSOL Multiphysics** User's Guide. Web-source: comsol.com. Access data: January 30, 2022.

References — see page 80.

HEATING, HOT WATER AND GAS SUPPLY

[Synthesis of heat exchange networks taking into account the location of heat sources, drains and utilities. Pp. 36–37.](#)

Dmitry S. Agapov, PhD, Associate Professor, the “Cars, tractors and technical service” Department, [Saint-Petersburg State Agrarian University \(SPbGAU\)](#)

1. R. Smit, J. Klemesh, L.L. Tovazhnyanskij, P.A. Kapustenko, L.M. Ul'ev. *Osnovy integracii teplovyh processov: monografija* [Fundamentals of the integration of thermal processes: A monograph]. Kharkov, Ukraine. NTU “HPI” [National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”]. 2000. 458 p. [In Russian]
2. V.V. Nashhokin. *Tekhnicheskaja termodinamika i teploperedacha* [Technical thermodynamics and heat transfer]. Moscow. Vysshaja shkola [“Higher education” Publishing House]. 1975. 496 p. [In Russian]
3. A.P. Kartoshkin, D.S. Agapov. *Resursobezrezhenie pri proektirovanii i jekspluatacii tehnologicheskogo oborudovanija jenergeticheskikh sistem: monografija* [Resource saving in the design and operation of technological equipment of energy systems: A monograph]. St. Petersburg. “Prospekt nauki” [“Prospect of Science” Publishers]. 2021. 310 p. [In Russian]

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

[The relevance of the implementation of energy complexes based on a steam piston machine. Pp. 60–63.](#)

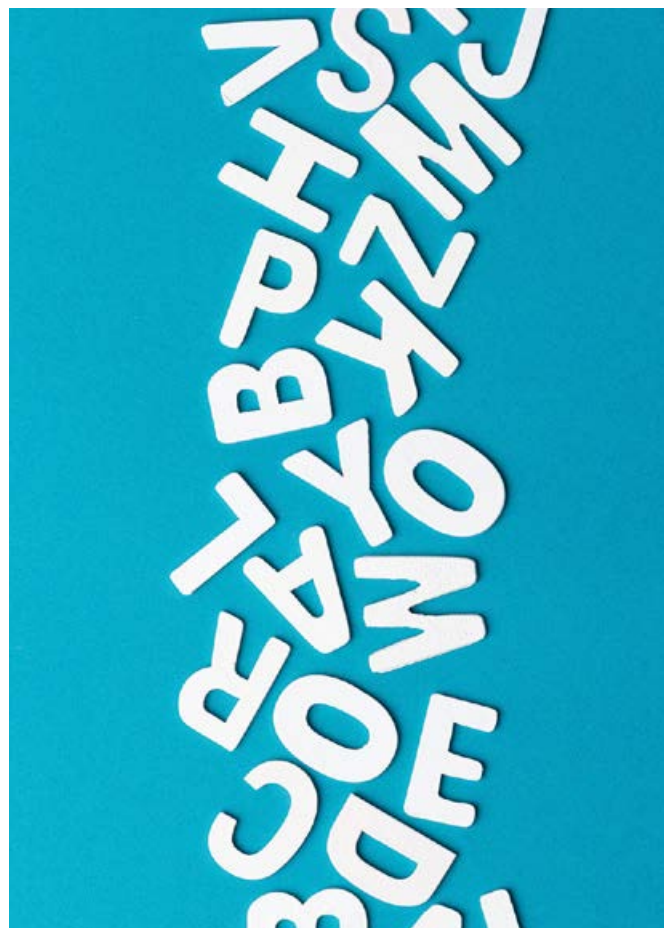
Alexander V. Razuvaev, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Atomic Energy, [Balakovo Institute of Engineering and Technology of the National Research Nuclear University MEPhI \(Moscow Engineering Physics Institute\)](#) [Balakovo city, Saratov region], Honorary Power Engineer of the Russia Federation; **Ivan Ya. Redko**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director, [Krzhizhansky Power Engineering Institute \(ENIN, Moscow city\)](#), Honorary Power Engineer of the Russia Federation

1. A.V. Razuvaev, R.A. Kobzev, I.Ya. Red'ko. Multifunctional energy-technological complex on the basis of a steam-piston power plant for autonomous facilities of various purposes. Problems of Energy Systems and Thermal Power Complexes: Proc. of the 14th International Scientific and Technical Conference. October 30 — November 1, 2018. Saratov, Russia. Journal of Physics: Conf. Series. 2018. Vol. 1111.
2. A.V. Razuvaev. Study of cogeneration plant operation during its work for consumer. Information Technologies in Education of the XXI Century (ITE-XXI): Proc. of the International Scientific-Practical Conference. December 7–8, 2015. Moscow, Russia. American Institute of Physics Conf. Proc. Vol. 1797.
3. A.V. Razuvaev, I.Ya. Red'ko. *Jenergeticheskaja bezopasnost' ob'ektov* [Energy security of objects]. *Molodoy uchenyj* [“Young scientist” Magazine]. 2015. No. 23.1. Pp. 37–39. [In Russian]
4. A.V. Razuvaev. *Perspektivy primeneniya parovyh porshnevnyh mashin v mnogofunkcional'nyh jenergotekhnologicheskikh kompleksah* [Prospects for the use of steam reciprocating machines in multifunctional energy technology complexes]. *Sovershenstvovanie jenergeticheskikh sistem i teplojenergeticheskikh kompleksov: Sb. mat. XIII Mezhd. nauch.-prakt. konf.* [Improvement of Energy Systems and Thermal Power Complexes: Proc. of the XIII International Scientific and Practical Conference]. November 1–3, 2016. Saratov, Russia. *Izd-vo SGTU* [Publishing House of Yuri Gagarin State Technical University of Saratov]. 2016. Pp. 327–330. [In Russian]
5. R.N. Shamin, A.V. Bujanov, A.V. Razuvaev. *Perspektivy primeneniya parovyh porshnevnyh mashin v jenergeticheskikh kompleksah* [Prospects for the use of steam reciprocating machines in energy complexes]. *Sovershenstvovanie jenergeticheskikh sistem i teplojenergeticheskikh kompleksov: Sb. mat. XII Mezhd. nauch.-tehn. konf.* [Improvement of Energy Systems and Thermal Power Complexes: Proc. of the XII International Scientific and Technical Conference]. October 29–31, 2014. Saratov, Russia. *Izd-vo SGTU* [Publishing House of Yuri Gagarin State Technical University of Saratov]. 2014. Pp. 188–191. [In Russian]
6. A.V. Razuvaev, S.V. Murin, D.A. Kostin. *Povyshenie nadezhnosti jenergosnabzhenija avtonomnogo ob'ekta* [Increasing the reliability of power supply of an autonomous facility]. *Jenergobezopasnost' i jenergosberezhenie* [“Energy security and energy saving” Magazine]. 2013. No. 6. Pp. 23–25. [In Russian]
7. E.N. Slobodina, A.G. Mikhailov, A.V. Razuvaev. Vacuum boiler elements temperature processes interrelation. Oil and Gas Engineering (OGE-2018): Proc. of the International Scientific-Practical Conference. February 26 — March 2, 2018. Omsk, Russia. American Institute of Physics Conf. Proc. Vol. 2007.
8. A.V. Vlasov, E.M. Vlasova. *K voprosu o promyshlennyh othodah* [On the issue of industrial waste]. *Universitetskij kompleks kak regional'nyj centr obrazovanija, nauki i kul'tury: Sb. mat. Vseross. nauch.-metod. konf.* [University Complex as a Regional Center of Education, Science and Culture: Proc. of the All-Russian Scientific and Methodological Conference]. Orenburg, Russia. *Izd-vo OGU* [Publishing House of Orenburg State University]. 2013. Pp. 694–697. [In Russian]
9. I.Ya. Red'ko, A.V. Razuvaev. *Aktual'nost' primeneniya parovyh mashin* [The relevance of the use of steam engines]. *Jenergetik* [“Power engineer” Magazine]. 2009. No. 1. Pp. 27–30. [In Russian]
10. T.A. Krutihina, A.V. Razuvaev, R.A. Kobzev. *Universal'nyj teplojenergeticheskij kompleks na baze paroporshevoj mashiny* [Universal heat and power complex based on a steam engine]. *Sovremennye tehnologii i avtomatizacija v tehnikе, upravlenii i obrazovanii: Sb. mat. II Mezhd. nauch.-prakt. konf.* [Modern Technologies and Automation in Engineering, Management and Education: Proc. of the II International Scientific and Practical Conference].

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

December 18, 2019. Moscow. *NIJaU MIFI* [National Research Nuclear University of Moscow Engineering Physics Institute (NRNU of MEPhI)]; *BITI MIFI* [Balakovo Engineering and Technology Institute of National Research Nuclear University of Moscow Engineering Physics Institute (BETI of NRNU of MEPhI)]. 2020. Vol. 1. Pp. 47–51. [In Russian]

11. A.V. Razuvaev, R.A. Kobzev, I.Ya. Redko. Multifunctional energy-technological complex on the basis of a steam-piston power plant for autonomous facilities of various purposes. Problems of Energy Systems and Thermal Power Complexes: Proc. of the 14th International Scientific and Technical Conference. October 30 — November 1, 2018. Saratov, Russia. Journal of Physics: Conf. Series. 2018. Vol. 1111.
12. A.V. Razuvaev. *Analiz jeffektivnosti paroporshevoj jenergeticheskoy ustanovki* [Analysis of the efficiency of a steam-piston power plant]. *Vestnik KRSU* [Bulletin of Yel'tsin Kyrgyz-Russian Slavic University (“Vestnik KRSU”)]. 2016. Vol. 16. No. 9. Pp. 56–59. [In Russian]
13. A.V. Razuvaev, R.R. Mansurova, T.V. Livanova. *Primenenie paroporshevyh mashin v jenergeticheskom komplekse* [The use of steam piston machines in the energy complex]. *Jenergojeffektivnost' i jenergosberezhenie: Sb. mat. II Vseross. nauch.-prakt. konf.* [Energy Efficiency and Energy Saving: Proc. of the II All-Russian Scientific and Practical Conference]. December 21, 2016. Moscow. *NIJaU MIFI* [National Research Nuclear University of Moscow Engineering Physics Institute (NRNU of MEPhI)]; *BITI MIFI* [Balakovo Engineering and Technology Institute of National Research Nuclear University of Moscow Engineering Physics Institute (BETI of NRNU of MEPhI)]. 2016. Pp. 48–51. [In Russian]
14. A.V. Razuvaev, I.Ya. Red'ko, R.R. Mansurova, T.V. Livanova. *Ocenka osnovnyh razmerov paroporshevoj mashiny* [Estimation of the main dimensions of the steam engine]. *Aktual'nye problemy i puti razvitiya jenergetiki, tehniki i tehnologii: Sb. mat. III Mezhd. nauch.-prakt. konf.* [Actual Problems and Ways of Development of Energy, Engineering and Technology: Proc. of the III International Scientific-Practical Conference]. April 18–23, 2017. Moscow. *NIJaU MIFI* [National Research Nuclear University of Moscow Engineering Physics Institute (NRNU of MEPhI)]; *BITI MIFI* [Balakovo Engineering and Technology Institute of National Research Nuclear University of Moscow Engineering Physics Institute (BETI of NRNU of MEPhI)]. 2017. Pp. 39–41. [In Russian]
15. A.V. Razuvaev, D.A. Kostin, Ju.A. Shumkova, A.V. Ageeva. *Analiz primeneniya materialov dlja paroporshevyh jenergeticheskikh mashin* [Analysis of the use of materials for steam piston power machines]. *Aktual'nye problemy i puti razvitiya jenergetiki, tehniki i tehnologii: Sb. mat. III Mezhd. nauch.-prakt. konf.* [Actual Problems and Ways of Development of Energy, Engineering and Technology: Proc. of the III International Scientific-Practical Conference]. April 18–23, 2017. Moscow. *NIJaU MIFI* [National Research Nuclear University of Moscow Engineering Physics Institute (NRNU of MEPhI)]; *BITI MIFI* [Balakovo Engineering and Technology Institute of National Research Nuclear University of Moscow Engineering Physics Institute (BETI of NRNU of MEPhI)]. 2017. Pp. 34–38. [In Russian]



ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

[Analysis of the dependence of thermal energy spent on heating and cooling of buildings on various factors. Pp. 64–67.](#)

Evgeniy G. Gasho, Doctor of Sciences in Technology, Professor, the “Industrial Heat Power Engineering Systems” Department, [National Research University “Moscow Power Engineering Institute”](#); **Alexei M. Phokin**, senior lecturer, the “Industrial Heat Power Engineering”, Smolensk branch of National Research University “Moscow Power Engineering Institute”

1. SP 131.13330.2020 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 131.13330.2020]. *Stroitel'naja klimatologija* [Building climatology]. Data of impl.: June 25, 2021. Moscow. *Minstroy Rossii* [Ministry of Construction of Russia]. 2020. [In Russian]
2. GOST 30494–2011 [State Industry Standard of Russia No. 30494–2011]. *Zdaniya zhilye i obshchestvennye. Parametry mikroklimata v pomeshenijah* [Residential and public buildings. The parameters of the microclimate in the premises]. Data of impl.: January 1, 2013. Moscow. *Standartinform* [Russian Scientific-Technical Information Centre for Standardization, Metrology and Conformity Assessment (“Standartinform” Publishers)]. 2019. [In Russian]
3. SP 60.13330.2020 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 60.13330.2020]. *Otoplenie, ventiljacija i kondicionirovanie. Aktualiz. red. SNiP 41-01-2003* [Heating, ventilation and air conditioning. Updated edition of Building Norms & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 41-01-2003]. Data of impl.: July 1, 2021. Moscow. *Minstroy Rossii* [Ministry of Construction of Russia]. 2020. [In Russian]
4. SNiP 23-02-2003 [Building Norms & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 23-02-2003]. *Teplovaja zashhita zdaniy* [Thermal protection of buildings]. Data of impl.: October 1, 2003. Moscow. *Gosstroy Rossii* [State Committee of Russia for Construction and Municipal Complex]; *FGUP TsPP* [Federal State Unitary Enterprise “Centre of Construction Design Products”]. 2004.
5. *Stroitel'naja klimatologija: Sprav. posobie k SNiP 23-01-99** [Building climatology: Reference manual to Building Norms & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 23-01-99*]. Edited by V.K. Savin. Moscow. *NII stroitel'noj fiziki RAASN* [State Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences]. 2006. 258 p. [In Russian]
6. A.S. Shibeiko, P.Ju. Kos'ko, T.I. Gutor. *Sovershenstvovanie metoda rascheta teplopostupenij ot solnechnoj radiacii cherez svetoprozrachnye konstrukcii* [Improvement of the method for calculating heat input from solar radiation through translucent structures]. *Privolzhskij nauchnyj zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. 2020. No. 1. Pp. 93–100. [In Russian]
7. A.N. Skanavi, L.M. Mohov. *Otoplenie* [Heating systems]. Moscow. *Izd-vo ASV* [Publishing House of the Association of Construction Universities (“ASV” Publishers)]. 2006. 576 p. [In Russian]
8. S.S. Dashedev, E.A. Malyshev. *Solnechnaja jenergetika: sostojanie i perspektivy* [Solar energy: status and prospects]. *Vestnik nauki i obrazovanija* [Bulletin of Science and Education]. 2018. No. 17-1. Pp. 51–53. [In Russian]
9. *Pogoda i klimat* [Weather and climate]. Web-source: [pogodaiklimat.ru](#). Access data: December 1, 2021. [In Russian]
10. M.I. Shiljaev, E.M. Hromova, Ju.M. Doroshenko. *Otoplenie, ventiljacija i kondicionirovanie vozduha. Primery rascheta sistem: uchebnoe posobie dlja vuzov* [Heating, ventilation and air conditioning. Examples of systems calculation: A textbook for universities]. Edited by M.I. Shiljaev. Moscow. *Izd-vo “Jurajt”* [“Youright” Publishing House]. 2022. 250 p. [In Russian]

[Features of start-up of small wind turbine with single-blade. Pp. 68–71.](#)

Sergey V. Gribkov, PhD, Academician of the [Russian Engineering Academy \(REA\)](#), scientific secretary of the Committee on the Problems of the Use of Renewable Energy Sources of the [Russian Union of Scientific and Engineering Societies \(RES Committee of RosSNIIO\)](#), general director of “[WindEq Technical Center](#)”, LLC (Podolsk city, Moscow Region)

1. E.M. Fateev. *Vetrodvigateli i vetroustanovki* [Wind turbines and wind turbines]. Moscow. *Sel'khozgiz* [State Publishing House of Agricultural Literature of the USSR (“Selkhozgiz” Publishers)]. 1957. 545 p. [In Russian]
2. J.F. Manwell, J.G. McGowan, A.L. Rogers. *Wind energy explained: Theory, design, and application*. 2nd Edition. John Wiley & Sons. 2010. 704 p.
3. S.V. Gribkov, A.M. Rusakov, A.M. Sugrobov, A. Tetal'. *Voprosy optimal'nogo proektirovaniya vetrojenergeticheskikh ustanovok maloj moshhnosti. Jelektricheskie generatory vetroustanovok maloj moshhnosti* [Issues of optimal design of low power wind turbines. Electric generators of low power wind turbines]. *Novoe v rossijskoj jenergetike* [“New in the Russian energy industry” Magazine]. 2021. No. 4. Pp. 17–36. [In Russian]
4. S.V. Gribkov. *Razvitie maloj vetrojenergetiki v mire i Rossii. Kompleksy garantirovannogo jelektronsnabzhenija* [Development of small wind energy in the World and Russia. Complexes of guaranteed power supply]. *Al'ternativnaja jenergetika v regionalah Rossii (AJeR-2018): Mat. molodezhn. nauch. konf.* [Alternative energy in the regions of Russia (AJeR-2018): Proc. of the Youth scientific conference]. Astrakhan city, December 5–7, 2018. Under the scientific editorship of L.Kh. Zainutdinova and M.G. Tyagunov. Astrakhan. *Publisher: R.V. Sorokin*. 2018. 304 p. [In Russian]
5. N.N. Melihov, V.A. Morozov. *Uchebnoe posobie po kursu “Proektirovanie JeLA”: Sistemy upravlenija ventil'nymi dvigateljami avtonomnykh ob'ektov* [A textbook for the “Designing of experimental aircraft” training course: Control systems for valve motors of autonomous objects]. Edited by V.S. Pavlikhin. Moscow. *Izd-vo MJeI* [Moscow Power Engineering Institute Publishing House]. 1981. 95 p. [In Russian]

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

6. G.A. Timofeev, A.K. Musatov, S.A. Popov, K.V. Frolov. *Teorija mehanizmov i mehanika mashin: uchebnik dlja vuzov* [Theory of mechanisms and mechanics of machines: A textbook for universities]. Edited by G.A. Timofeev. 8th Edition, rev. and exp. Moscow. *Izd-vo MGTU* [Bauman Moscow State Technical University Publishing House]. 2017. 566 p. [In Russian]

[Modeling and optimization in COMSOL Multiphysics of the masts of small wind power plants. Pp. 72–78.](#)

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 \(RGUTIS\)](#), dp. Cherkizovo, Moscow region)

1. GOST R 56615–2015 [State Industry Standard of Russia No. 56615–2015]. *Resursosberezhenie. Pokazateli materialojomkosti i materialojeffektivnosti. Rukovodstvo po ustanovleniju kriteriev vybora* [Resource saving. Indicators of material consumption and material efficiency. Guidelines for setting selection criteria]. Moscow. *Standartinform* [Russian Scientific-Technical Information Centre for Standardization, Metrology and Conformity Assessment (“Standartinform” Publishers)]. 2016. 28 p. [In Russian]
2. V.V. Elistratov, I.A. Konstantinov, A.A. Panfilov. *Nagruzki na jelementy vetrojenergeticheskij ustanovki, na ejo fundament i osnovanie: ucheb. posobie* [Loads on the elements of the wind power plant, on its foundation and base: A tutorial]. St. Petersburg. *Izd-vo SPbGTU* [Publishing House of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University]. 1999. 38 p. [In Russian]
3. L.P. Abasheva, I.I. Zueva. *Proektirovanie i raschjot stal'nyh ferm pokrytij iz kruglyh trub: metodicheskie ukazanija* [Design and calculation of steel coating farms from round pipes: Guidelines]. Perm. *Izd-vo PGTU* [Publishing House of Perm State Technical University]. 2009. 44 p. [In Russian]
4. V.A. Suchilin, A.S. Kochetkov, N.N. Gubanov. *Modelirovanie i issledovanie v COMSOL Multiphysics korrozionnogo processa armatury zhelezobetonnih fundamentov malyh VleU* [Modeling and research in Comsol Multiphysics of the corrosion process of reinforced concrete foundations of small wind power plants]. *Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2021. No. 10. Pp. 74–79. [In Russian]
5. E.G. Makarov. *Soprotivlenie materialov na baze MathCAD* [The resistance of materials based on MathCAD]. St. Petersburg. *BKhV-Peterburg* [“BHV-Peterburg” Publishers]. 2004. 512 p. [In Russian]
6. H. Sönnnerlind. Buckling, when structures suddenly collapse. Web-source: [comsol.com](#). Access data: January 30, 2022.
7. R. Axisa, M. Muscat, T. Sant, R.N. Farrugia. Structural assessment of a lattice tower for a small, multi-bladed wind turbine. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. 2017. Vol. 8. Issue 4. Pp. 343–358.
8. Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1-1: General structural rules and rules for buildings (BS EN 1993-1-1:2005). European Committee for Standardization. Web-source: [en-standard.eu](#). Access data: January 30, 2022.
9. Linear buckling analysis of a truss tower. COMSOL Multiphysics User's Guide. Web-source: [comsol.com](#). Access data: January 30, 2022.
10. Sensitivity analysis of a truss tower. COMSOL Multiphysics User's Guide. Web-source: [comsol.com](#). Access data: January 30, 2022.
11. Optimization of a truss tower. COMSOL Multiphysics User's Guide. Web-source: [comsol.com](#). Access data: January 30, 2022.





МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА И ФОРУМ

RENWEX

«Возобновляемая энергетика
и электротранспорт»

21–23 ИЮНЯ 2022

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»,
павильон №3

КЛЮЧЕВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ



Ветроэнергетика



Солнечная энергетика



Водородная энергетика



Гидроэнергетика



Биоэнергетика, биогаз и твердое биотопливо



Энерго- и ресурсосберегающие технологии



Электротранспорт и зарядная инфраструктура



Реклама 12+

www.renwex.ru

При поддержке



МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ



МИНПРОМТОР
РОССИИ



АРВЭ
АССОЦИАЦИЯ РАССУДКА
КОМПЕТЕНТНОГО ЭНЕРГЕТИКА

EURO
SOLAR
RUSSIA



РОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ
ВЕТРОИНДУСТРИИ



ТАИ РО



ЭКСПОЦЕНТР

Под патронатом

Организатор



НАДЕЖНОЕ ПЕРЕКРЫТИЕ ТРУБОПРОВОДА

Шаровые краны БРОЕН БАЛЛОМАКС предназначены для перекрытия и подачи потока в системах тепло-холодоснабжения и газораспределения, высокая надежность конструкции которых гарантирует герметичную отсечку подаваемой среды и долгий срок эксплуатации.

ВЫСОКАЯ ТОЧНОСТЬ БАЛАНСИРОВКИ СИСТЕМЫ

Балансировочные клапаны БРОЕН серии Ventuti FODRV для гидравлической увязки систем отопления, тепло-холодоснабжения и вентиляции обеспечивают высокую точность измерений и регулирования расхода, а наличие полноценного шарового крана позволяет выполнять герметичное перекрытие потока, сохраняя установленную настройку клапана.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОТОКА

Регулирующие и предохранительные клапаны, электро- и пневмоприводы, термостаты, регуляторы перепада давления и контроллеры БРОЕН применяются в системах тепло-водоснабжения, кондиционирования, а также в технологических и прочих системах для автоматического регулирования и поддержания необходимых параметров среды с высокой точностью.



46 филиалов в 33 городах России



Более 35 000 м² складских помещений



Производство от более чем 350 производителей из Европы и России



Около 18 000 уникальных артикулов товара на складе



Комплексная поставка оборудования со склада

Для тепловых пунктов -
поставка арматуры Броен,
теплообменного,
насосного оборудования
и сопутствующего
для монтажа оборудования.

www.lunda.ru

МУЛЬТИСЕРВИСНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

LUNDA
для профессионалов