



**26**

Кейсы  
внедрения  
тепловососов



**32**

Система  
теплоснабжения  
«в цифре»



**48**

Гибридные  
системы конди-  
ционирования



**66**

Алгоритмы  
оптимизации  
энергосистем



## Pro.Expert

Монтаж

Vaillant

VGR

Сообщество профессиональных монтажников

- ✓ Монтируй оборудование Vaillant
- ✓ Регистрируй свои монтажи
- ✓ Получай вознаграждения!



**Vaillant**

Комфорт моего дома



28-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА  
бытового и промышленного оборудования для отопления,  
водоснабжения, инженерно-сантехнических систем,  
бассейнов, саун и спа

# aqua THERM MOSCOW

6–9.02.2024  
Москва, Крокус Экспо

Забронируйте стенд  
[aquathermmoscow.ru](http://aquathermmoscow.ru)



Реклама



Специализированный раздел



Одновременно с выставкой  
оборудования и технологий  
для вентиляции  
и кондиционирования



## PPSU фитинги РОСТЕРМ

АЛЬТЕРНАТИВА ЛАТУННЫМ

16-32

Р  
Р  
S  
U

**ВЫСОКАЯ ПРОЧНОСТЬ**  
к ударным  
и механическим  
нагрузкам

**УСТОЙЧИВЫ**  
к высоким  
температурам

**НЕ ПОДВЕРЖЕНЫ**  
КОРРОЗИИ

**НЕЙТРАЛЬНЫ**  
при контакте с водой

**НЕ ЗАУЖАЮТ**  
внутренний диаметр  
трубы

**ВИДЕО  
ПРОИЗВОДСТВА**



# РОСТЕРМ

## АККРЕДИТОВАННАЯ Лаборатория РОСТерм



**DSK КОНТРОЛЬ**  
качества сырья  
и готовых изделий



**ПРОВЕРЯЕМ ПО ВСЕМ  
ПАРАМЕТРАМ ГОСТ**



**ТЕСТИРУЕМ  
СОЕДИНЕНИЯ  
и отдельные  
компоненты**



№ РОСС RU.32368.04НС00

### КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОТ СЫРЬЯ ДО СОЕДИНЕНИЯ



[rosterm.ru/lab](http://rosterm.ru/lab)

Волхонское шоссе, д. 112

+7 (812) 425 39 30

**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 Головоно

**Редакционная коллегия**

Председатель:

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

Сопредседатели:

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

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

Заместитель председателя:

И.Я. Редько, д.т.н., проф., ИБХФ РАН

Секция «Сантехника»

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

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

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

Секция «Отопление и ГВС»

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

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

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

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

Секция «Кондиционирование и вентиляция»

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

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

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

В.И. Прохоров, д.т.н., проф., ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ»

Секция «Энергосбережение»

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

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

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

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

Секция «Энергетические системы и комплексы»

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

\* Руководитель секции.

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

Тел/факс: +7 (495) 665-00-00

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

Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ № ФС77-56668.

Подписной индекс: П1895.

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

**Адрес в Интернете**

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

**Отпечатано в типографии**

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

Тираж 15 000 экз. Цена свободная.

Выпуск № 258 (06/2023). Дата выхода: 25.07.2023.

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

ISSN 1682-3524

**Новости**

2

**События**

[«День монтажника» LUNDA в Москве](#)

5

[Building ClimateForum° 2023 — Форум по промышленному кондиционированию и вентиляции зданий](#)

6

**Сантехника и водоснабжение**

[Wirquin: инновационные продукты и надёжное российское производство](#)

8

[Система защиты при потопе «Аквасторож»: простота монтажа и высокая степень защиты](#)

12

[Некоторые особенности химических уравнений деманганации подземных вод](#)

14

**Отопление и ГВС**

[«Вайлант Груп Рус». Форсаж 2023!](#)

18

[Как испытываются трубы PE-Xa «РОСТерм»](#)

22

[Каучуковая теплоизоляция — оптимальный выбор](#)

24

[Кейсы внедрения тепловых насосов прямого кипения на объектах в стандартных и усложнённых условиях](#)

26

[О формировании базы данных цифровой модели системы теплоснабжения здания](#)

32

[Моделирование и исследование в программном обеспечении Aspen HYSYS и COMSOL Multiphysics системы отопления путём рекуперации вторичных энергоресурсов](#)

36

**Кондиционирование и вентиляция**

[Правильный холод в эпоху перемен](#)

44

[Гибридные системы кондиционирования на основе комбинации наружных блоков систем VRF и фанкойлов](#)

48

[О повышении точности регулирования систем вентиляции за счёт применения искусственных нейронных сетей](#)

52

**Энергосбережение и ВИЭ**

[Нужна широкая экспертная консолидация в вопросах повышения энергоэффективности экономики](#)

54

[Методика и примеры расчёта годового расхода холода на охлаждение и вентиляцию кондиционируемых помещений](#)

58

[Применение алгоритмов оптимизации для повышения надёжности работы энергосистем](#)

66

[Анализ эффективности плавучих атомных теплоэлектростанций \(ПАТЭС\) для портовых населённых пунктов арктической зоны на примере г. Дудинка](#)

74

[Применение ветроэлектрических станций \(ВЭС\) для энергоснабжения на нефтегазовых месторождениях России](#)

76

**References**

78

### Одной строкой

:: Компания LUNDA («Лунда») сообщила об открытии второго филиала компании в Калуге по адресу: ул. Глаголева, д. 23. Новый офис «ЛУНДА — Глаголева» совмещён со складом площадью 200 м<sup>2</sup>, который уже полностью заполнен. В наличии почти 2000 уникальных товарных позиций. Это позволит клиенту получить самые ходовые товары в день заказа.



Фот: Ralph Orlovski / Reuters

:: Акции компании Siemens Energy упали на 37,3% после того, как она сообщила, что на устранение проблем с ветряными турбинами может понадобиться несколько лет, пишет CNBC. В компании обнаружили серьёзный конструкционный дефект в новой модели ветряных платформ, устанавливаемых на платформе 5.X. 170-метровые турбины начинают колебаться, что в конце концов может привести к поломкам важных узлов и выходу всего агрегата из строя.



:: Лауреатами премии «Глобальная энергия» в 2023 году стали учёные из КНР: в номинации «Нетрадиционная энергетика» — Чжун Линь Ван, директор-основатель Пекинского института наноэнергетики и наносистем; в номинации «Новые способы применения энергии» — Жучжу Ван, профессор Шанхайского университета транспорта. Номинация «Традиционная энергетика» осталась в этом году без победителя — из-за жёсткой конкуренции ни один из кандидатов не смог набрать необходимое количество голосов членов Международного комитета премии.

:: Производитель насосного оборудования «Джилекс» запустил видеоконкурс для монтажников. С 1 июня по 31 августа 2023 года можно выложить видео в социальных сетях с монтажом, обзором или тестированием насосного оборудования «Джилекс» и получить возможность выиграть денежный выигрыш до 500 тыс. руб.

### BDR Thermea Group

## BDR Thermea Group приобрёл Fortes Energy Systems



Международный холдинг BDR Thermea Group объявил о присоединении теплосетевой компании Fortes Energy Systems, что позволит расширить портфолио продукции в сфере перехода к возобновляемым источникам энергии.

С приобретением Fortes Energy Systems производственная линейка BDR Thermea Group пополнилась решениями в области перехода к возобновляемым источникам энергии в дополнение к тепловым насосам и гибридным системам.

Fortes Energy Systems со штаб-квартирой в Нидерландах — международный эксперт в области систем теплоснабжения и холодоснабжения коллективного пользования, предназначенных для жилых помещений, а также для коммунально-бытового и промышленного потребления. Продукция концерна обеспечивает благоприятный микроклимат в помещениях, высокий коэффициент полезного действия и низкое энергопотребление оборудования, а также оптимизирует систему горячего водоснабжения.

Ассортимент продукции, выпускаемой компанией Fortes Energy Systems, включает в себя тепловые пункты, распределительные станции для тепло- и холодоснабжения, а также распределительные станции для напольного отопления и охлаждения.

Головной офис компании со штатом 68 сотрудников находится в Нидерландах. Продукты корпорации реализуются в Нидерландах, Бельгии, Германии, Великобритании и Дании. Fortes Energy Systems продолжит работу под своим именем.

### BAXI

## Выставки и конференции BAXI Expo



Седьмого июня в павильоне №2 Нижегородской ярмарки успешно прошла специализированная выставка-конференция внутренних инженерных решений для промышленных и жилых помещений «BAXI Expo и Партнёры». Мероприятие собрало более 20 лидирующих европейских и российских брендов, представивших свои передовые технологии и энергоэффективное оборудование.

Общая площадь экспозиции превысила 540 м<sup>2</sup>, а количество участников и посетителей — 450 человек.

Среди экспонентов были представлены такие известные компании и бренды, как BAXI, De Dietrich, Craft, Elsen, FAR, Gekon, Isoterm, K-Flex, Neptun, REHAU, Rommer, Royal Thermo, Shinhoo, STOUT, Strattos, Uni-Fitt, Vandjord, Wattson, ZONT, «АртГаз», «Газпром Газораспределение Нижний Новгород», «Сантехлюкс», «ЭВАН», «ЭТМ», «Штиль».

12 июля зал «Зона гостеприимства» футбольного стадиона «Екатеринбург Арена» распахнул свои двери для посетителей специализированной выставки-конференции «BAXI Expo и Партнёры». В рамках экспозиции эксперты в области отопления, вентиляции и кондиционирования смогли ознакомиться с оборудованием от известных европейских и российских производственных компаний.

В выставке-конференции «BAXI Expo и Партнёры» приняли участие следующие компании-экспоненты: BAXI, De Dietrich, Elsen, Royal Thermo, Uni-Fitt, K-Flex, Gekon, FAR, «ЭТМ», Vandjord, Shinhoo, Gidruss, REHAU, Usystems, Neptun.



**TURKOV**

## Олег Турков – генеральный директор компании TURKOV. Интервью «без галстуков»



Представляем вашему вниманию неформальную беседу главного редактора журнала СОК Александра Гудко и Олега Туркова, генерального директора компании TURKOV. Говорили о положительных аспектах нестабильности, творчестве и бизнесе, диверсификации и ракетных двигателях, а также... в общем, послушайте беседу. Будет интересно!

Напомним, что TURKOV — российский производитель климатической техники. Компания занимается разработкой и производством энергоэффективного климатического оборудования: приточно-вытяжных установок с рекуперацией тепла и влаги; воздушного отоп-

ления, приточных и вытяжных установок; приточных установок с высокой степенью очистки воздуха; осушителей для бассейнов и производств; увлажнителей; вентиляционных решёток; автоматики.

В оборудовании TURKOV учтены все особенности сурового российского климата: оно стабильно работает как в Центральном регионе и Сибири, так и на Крайнем Севере, где температура опускается ниже  $-50^{\circ}\text{C}$ .



Интервью  
Олега Туркова,  
генерального  
директора  
компании  
TURKOV,  
журналу СОК

**LUNDA**

## LUNDA теперь и в Казахстане!



**Сәлеметсіз бе!**

Не удивляйтесь. Именно так приветствуют гостей в новом филиале LUNDA («Лунда»). Ведь теперь офис компании есть не только в Швеции и России, но и в Казахстане. В этом году там открылся первый филиал LUNDA с собственным складом в Астане. Это результат большого проекта по масштабированию компании на зарубежные рынки.

«ЛУНДА-Астана» — это офис продаж, где менеджеры с удовольствием проконсультируют по всем вопросам, помогут подобрать оборудование, оформить заказ и угостят вкусным зерновым кофе сорта Lunda Original.

А также это склад площадью 1100 м<sup>2</sup>, который при максимальной загрузке сможет вместить около 8000 уникальных товарных позиций. Сейчас идёт процесс его активного наполнения.

Впереди предстоит большая работа по налаживанию всех процессов и «акклиматизации» в соседней стране. Но уже сейчас LUNDA активно знакомит казахстанских монтажников со своим ассортиментом и сервисом.

Склад и офис продаж филиала компании LUNDA в Казахстане «ЛУНДА-Астана» расположены по адресу:

**г. Астана, просп. Аль Фараби, д. 63**  
**Тел.: 8 (800) 004-20-20, +7 (7172) 64-05-00**  
**E-mail: sales@lunda.kz**



**Одной строкой**

:: Минпромторг России планирует объявить конкурс на заключение специнвестконтракта, который определит, какие компании будут производить в РФ «суверенную ветроэнергетическую установку». Инвестор должен выпускать в России лопасти, гондолы и ступицы, а генераторы и системы управления — по желанию. Игроки рынка критикуют предложение, считая обязательным производство в РФ всех критических компонентов, а также советуют не пускать на конкурс инвесторов с иностранными корнями. На специнвестконтракт могут претендовать «Росатом», «Силовые машины» с китайской Harbin и «Фортум» с китайской Dongfang, сообщает Коммерсант.ru.



:: 15 июня в Санкт-Петербурге в рамках второго дня работы XXVI Петербургского международного экономического форума состоялась церемония подписания меморандума о начале технико-экономических предпроектных изысканий в сфере строительства ветроэнергетической станции между АО «НоваВинд» (дивизион ГК «Росатом» по ветроэнергетике), Министерством электрификации Мьянмы и мьянманской компанией Zeua & Associates (пресс-релиз «Росатома»), сообщает Renen.ru.



:: Группа компаний «Специальные системы и технологии» (ГК «ССТ»), крупнейший в России и один из ведущих в мире производителей нагревательных кабелей, систем электрообогрева и специальной электротехники, сообщает о возобновлении выпуска электрических тёплых полов под торговыми марками «Русское тепло» и OneKeyElectro.

Одной строкой

Согласно отчёту маркетинговой компании RenewableUK EnergyPulse Offshore wind, глобальный портфель проектов офшорной ветроэнергетики превысил 1,23 ТВт. В этой цифре учтены проекты на всех стадиях разработки: действующие, строящиеся, согласованные или планируемые. Очевидно, что не все они будут доведены до конца, но тенденция позитивная. Всего год назад Глобальный совет по ветроэнергетике (GWEC) сообщил, что портфель морских ветроэнергетических проектов, которые находятся на разных стадиях разработки, превышает 700 ГВт (0,7 ТВт), сообщает Renen.ru.



Отчёт Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA) «Статистика возобновляемой мощности 2023 года» показывает, что в 2022 году на Азию пришлось почти 60% общемирового прироста генерирующих мощностей возобновляемой энергии, в результате чего к концу года общая мощность возобновляемых источников энергии составила 1,63 ТВт. Большая часть этого прироста пришлась на Китай, пишет Renen.ru.



По сообщению Renen.ru, Минэкономики Германии (BMWK) запустило процесс сбора заявок от инвесторов, заинтересованных в создании производственных мощностей солнечной индустрии на территории страны. Правительство намерено предоставлять им субсидии, покрывающие часть капитальных вложений «при условии наличия бюджетных средств и утверждения Европейской комиссией».

Правительство Испании планирует повысить долю возобновляемых источников в производстве электроэнергии с 74 до 81% к 2030 году. Об этом говорится в сообщении, опубликованном в среду на сайте испанского министерства экологического перехода и демографического вызова, сообщает ТАСС.

«Ридан»

## APT-R3 – первый российский автоматический балансировочный клапан



В конце июня на заводе «Ридан» в Московской области открылась линия по производству автоматических балансировочных клапанов APT-R3. Это событие стало очередным шагом по расширению производственных мощностей компании, а сам клапан — первым продуктом этого класса, выпуск которого налажен внутри страны.

Конструкцию клапана разработали инженеры компании «Ридан». За основу специалисты взяли модель, которая уже зарекомендовала себя на различных объектах в России и за её пределами, при этом конфигурация и материалы были адаптированы к современным реалиям. Опытные образцы были многократно испытаны на рабочие и максимальные параметры, точность поддержания перепада давлений, прочность элементов и стойкость

к химическому воздействию. Клапан также прошёл ресурсные испытания, отработав 100 тыс. циклов.

Инженеры «Ридан» создали не только сам клапан, но и оснастку, необходимую для его серийного выпуска. Благодаря этому компания может контролировать качество изделия на каждом этапе производства.

Автоматический балансировочный клапан APT-R3 предназначен для систем отопления, тепло- и холодоснабжения с переменным расходом. Встроенный мембранный блок поддерживает постоянный перепад давлений на регулируемом участке, что обеспечивает необходимую мощность у каждого потребителя вне зависимости от работы термостатических или регулирующих клапанов на других участках. Настройка может быть выполнена в диапазоне 5–25 кПа, класс давления — PN16, максимальная рабочая температура — 120°C.

Клапан APT-R3 сертифицирован, для него подготовлена необходимая техническая документация: техописание, паспорт, руководство по эксплуатации, 2D- и 3D-чертежи. Он также добавлен в расчётные программы DCAD и Audytor CO.

Законодательство

## КС РФ предложил уточнить правила расчётов за отопление в старых МКД

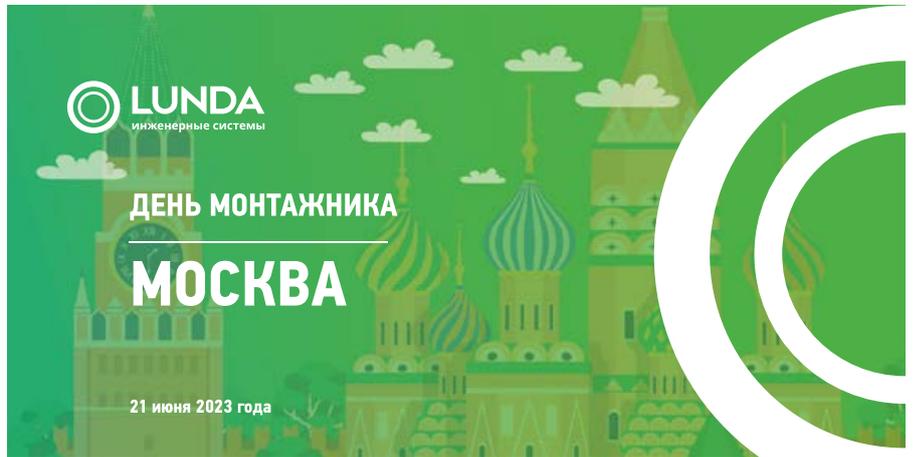
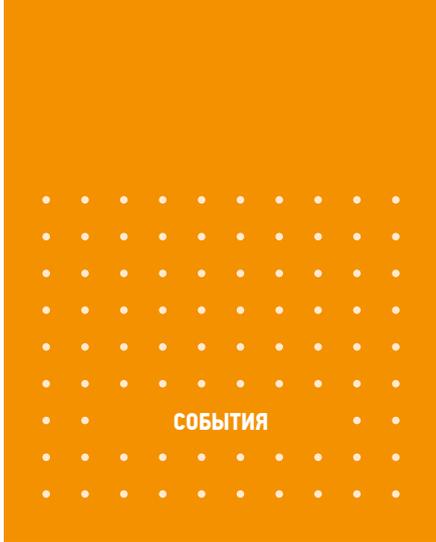
Конституционный суд РФ снова выступил за внесение изменений в формулы расчётов за отопление в МКД, где не все помещения оборудованы индивидуальными приборами учёта. Собственница обратилась в КС РФ с просьбой проверить конституционность абзацев 6, 8 п. 2, п. 42.1, формул (3.1) и (3.7) Приложения 2 Правил № 354. Её нежилое помещение — единственное в МКД оборудовано прибором учёта тепловой энергии, подключённым до ОДПУ. Теплоснабжающая организация же считала её узел учёта частью общедомовой системы и начисляла плату за ОДН согласно оспариваемым нормам. В итоге плата за общедомовые нужды во много раз превышала суммы за отопление самого помещения.

КС РФ отказался рассматривать жалобу, не найдя нарушений прав собственности. При этом он отметил, что: во многих домах старого жилого фонда с вертикальной поквартирной разводкой ВДИС теплоснабжения нет возможности установить ИПУ; если в одном или нескольких помещениях такого МКД собственники всё-таки смонтируют прибор учёта тепловой энергии, то действующий порядок расчётов может привести к необоснованному увеличению исчисленного расчётным способом объёма ресурса, затраченного на общедомовые нужды.

Суд указал, что Правительство РФ «не лишено возможности на основе тщательного экономического анализа... установить специальный... порядок исчисления размера платы за коммунальную услугу по отоплению для собственников и пользователей расположенных в таких домах помещений». Расчёт должен учитывать особенности внутридомовых систем и оборудования, которые влияют на объёмы ОДН (определение КС РФ от 08.06.2023 № 1405-О).



Источник: «РосНеарнал», goskvartal.ru



## «День монтажника» LUNDA в Москве

Компания LUNDA провела 21 июня 2023 года «День монтажника», создав атмосферу настоящего профессионального праздника для специалистов отрасли.

В мероприятии приняли участие партнёры LUNDA — компании BAXI, Bosch, Buderus, De Dietrich, Fachmann, Ferroli, Flamco, Henco, Obermaster, Ostendorf, Oventrop, Pestan, Pro Aqua, K-Flex, LD, REHAU, Sanha, SFA, STOUT, Milwaukee, MVI, Usystems, Vandjord, WILO, WOLF, ZOTA, «Акваконтроль», «Джилекс», «РОСМА».

«День монтажника» посетили многочисленные специалисты, работающие в строительной инженерной сфере.

В ходе мероприятия, прошедшего в приятной атмосфере, они смогли пообщаться с коллегами и представителями компаний-производителей; ознакомиться с новинками и трендами рынка инженерного оборудования; посетить мастер-классы и увидеть профессиональные «лайфхаки»; принять участие в конкурсах и получить призы и подарки. ●



## Building Climate Forum° 2023 – Форум по промышленному кондиционированию и вентиляции зданий

6 октября 2023 года в городе Екатеринбурге в рамках Международного форума-выставки [100+ TechnoBuild](#) пройдёт VI Форум по промышленному кондиционированию и вентиляции зданий [Building Climate Forum° 2023](#).

Ежегодно мы наблюдаем технологический прогресс в сегменте климатического инженерного оборудования, развитие инновационных подходов в области проектирования систем кондиционирования и моделирования аэродинамических процессов. Кроме того, меняется законодательство, общая политическая и экономическая ситуация, а вместе с ними трансформируются рынки спроса и предложений.

Специалисты, заинтересованные в развитии своих компетенций, и руководители, успешно развивающие свои компании, постоянно расширяют профессиональный кругозор для того, чтобы оставаться «на гребне волны» и максимально использовать современные возможности рынка.

Невзирая на огромное количество нормативной документации, строительство инженерных систем не является жёстко регламентированным, и даже хорошо проработанные инженерные решения в процессе их реализации часто подвергаются существенным изменениям в угоду сиюминутным коммерческим интересам той или иной стороны строительства. Приносятся в жертву, иногда неосознанно, качество создаваемой системы и снижение эксплуатационных издержек, способных в среднесрочной перспективе, как минимум, вернуть «переплаченные» средства, а возможно и уберечь от дорогостоящего ремонта.

Одна из причин подобных решений — слабая информированность как заказчика, так и подрядчиков о современных технологиях и возможностях климатического оборудования.

Именно это послужило основанием для создания ежегодного [Форума по промышленному кондиционированию Building Climate Forum°](#) — как единой информа-

ционной площадки для развития и укрепления коммуникаций между всеми участниками процесса строительства климатических инженерных сетей.

Первый [Форум°](#) состоялся в 2018 году в Екатеринбурге. Тогда на футбольном стадионе «Екатеринбург-Арена» собралось более 200 специалистов строительных, генподрядных, проектных и климатических компаний, представителей государственных структур и профессионального образования.

**100+ TECHNO BUILD**

Международный строительный форум и выставка

Форум по промышленному кондиционированию **Building Climate Forum°**

Организаторами была озвучена миссия «Развитие сферы промышленного кондиционирования как отрасли», выражающая амбициозные намерения и желание принести пользу для всех фигурантов климатического рынка.

Стратегическая цель: снижение экономических рисков и повышение эффективности реализации проектов кондиционирования за счёт консолидации всех этапов строительства инженерной системы от проектирования до ввода в эксплуатацию, повышение уровня профессиональных знаний и технической подготовки специалистов климатической и смежных отраслей.





На площадке выступили 13 спикеров из различных сфер строительства, и каждый по-своему раскрыл общую тему первого форума «Культура промышленного кондиционирования». Мероприятие вызвало широкий интерес профессиональной аудитории, что подчеркнуло актуальность и важность данного формата.

В 2019 году [Building Climate Forum](#) повторил результат, получил высокую оцен-

ку от Министерства строительства Свердловской области, а также официальное предложение включить форум в деловую программу Международной выставки и форума [100+ TechnoBuild](#) на постоянной основе.

С 2020 года [Форум по промышленному кондиционированию](#) ежегодно проходит на полях [100+ TechnoBuild](#) в МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО».

В 2023 году [VI Форум по промышленному кондиционированию и вентиляции зданий Building Climate Forum](#) 2023 пройдёт в последний день выставки [100+ TechnoBuild](#) — шестого октября.

Главная тема обсуждения на форуме в 2023 года звучит так: «Нестандартные и высокоэффективные решения климатизации производственных объектов и спортивных сооружений». ●



## VI Форум по промышленному кондиционированию и вентиляции зданий [Building Climate Forum](#) 2023

### Модераторы Форума:

- ❑ Кравченко Алексей Павлович — учредитель ООО «Билдинг Климат», ООО «АЯК-Регионы», основатель «Ассоциации климатехников»;
- ❑ Гудко Александр Николаевич — главный редактор [журнала СОК](#).

**Дата проведения:** 6 октября 2023 года.

**Адрес:** г. Екатеринбург, ЭКСПО-бульвар, д. 2, зал 3.8.

**Сайт:** [building-climate.ru/forum](http://building-climate.ru/forum)

### Организаторы форума:

- ❑ Ассоциация климатехников «Билдинг Климат»;
- ❑ Дистрибьюторская компания «АЯК-Регионы»;
- ❑ Форум и выставка [100+ TechnoBuild](#);
- ❑ Министерство строительства и развития инфраструктуры Свердловской области.

**Информационный партнёр:** [журнал СОК](#).

САНТЕХНИКА  
И ВОДОСНАБЖЕНИЕ

## Wirquin: ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОДУКТЫ И НАДЁЖНОЕ РОССИЙСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО

ООО «Виркэн-Рус», входящее в международную группу [Wirquin](#), уже 15 лет является одним из ведущих производителей инженерной сантехники в России. Компания предлагает широкий спектр надёжных и инновационных продуктов, необходимых для создания качественных систем водоснабжения и санитарии в доме.

**wirquin**  
**virplast**

САНТЕХНИКА И ВОДОСНАБЖЕНИЕ

Автор: Александр ГУДКО,  
главный редактор [журнала СОК](#)



На правах рекламы.

В этой статье мы расскажем об инновационных устройствах [Wirquin](#), об отечественном производстве компании, уделим внимание клиентской базе компании. Партнёры [ООО «Виркэн-Рус»](#) охватывают все регионы России, что является следствием верности компании принципу заботы о бизнесе клиентов.

А успехи в создании передовой сантехники стали возможны благодаря каждодневному труду над повышением качества и технологичности устройств.

### **Wirquin: история и день сегодняшний**

Это почти закон: к производству хорошей продукции, которой доволен потребитель, как правило, ведёт достойный путь. Так произошло и с компанией [Wirquin](#).



:: Компания Wirquin Plastiques в 1977 году

Её история началась в далёком 1969 году, когда основатель компании Даниель Ле Коэнт (Daniel Le Coënt) начал производство пластиковых сливных механизмов, на создание которых его вдохновил тещь — Генри Виркэн (Henry Wirquin) — оптовый продавец сантехнической арматуры в городе Нанте. Следующим этапом развития фирмы стало создание во Франции в 1977 году фирмы Wirquin Plastiques. Спустя 12 лет у компании появляется португальский филиал, а в 1995-м создаётся и испанское подразделение.

Курс на активное расширение бизнеса знаменуется приобретением в 1999 году румынского производителя Urbis Sanitar. Открытие же через каких-то пять лет [Wirquin South Africa](#) открывает бренду [Wirquin](#) путь на африканский континент.

Проходит десятилетие с момента открытия испанского представительства компании, и в 2005 году начинается история роста и становления [Wirquin](#) уже на российской земле. «Виркэн-Рус» становится своеобразным «плацдармом» для бизнес-экспансии Группы на Дальний Восток, результатом которой в 2007 году становится создание совместного предприятия Golden Plastic Industrial (Китай). Далее всего за один 2009 год [Wirquin](#) закрепляет свои позиции в регионе открытием Wirquin Asia в Гонконге и представительства в китайском городе Нинбо. А приобретение компании Aimas (ныне Wirquin Aimas) в городе Чжуншань (КНР), занимающей третье место среди крупнейших китайских производителей туалетных сидений, сливных механизмов, кранов и туалетных бачков, завершает формирование дальневосточного плацдарма компании.

В 2011 году [Wirquin](#) усиливает влияние в Европе приобретением компании SME Sanitary Systems (ныне Wirquin Ltd.), производителя туалетных сидений, сантехнических механизмов, лидера рынка в Великобритании, а в 2013-м ещё более усиливает свои позиции в России, «закрыв» сделку по приобретению российской компании Virplast.

На сегодняшний день транснациональная [Группа Wirquin](#) владеет шестью заводами, расположенными в разных уголках мира: во Франции, Великобритании, Румынии, России, Китае и Южной Африке.





:: Сифон **Wirquin Neo Air** — лидирующие позиции на рынке



:: Сифон **Wirquin Slim+** — надёжность и эффективность

### Флагманские продукты

«Виркэн-Рус» предлагает ряд инновационных сантехнических решений, отличающихся высоким качеством и функциональностью. Один из самых успешных продуктов — сифон **Wirquin Neo Air**. Он уже многие годы заслуженно занимает лидирующие позиции на рынке и был отмечен множеством престижных наград.

Ещё одна разработка — инновационный сифон для душа **Wirquin Slim+**. Это устройство не имеет аналогов в мире и отличается высокой эффективностью и исключительной надёжностью.

Присутствие в линейке оборудования таких позиций возможно благодаря постоянной связи компании с покупателями, глубокому пониманию, в какой именно продукции нуждается рынок и что именно необходимо для успешной работы здесь, в России. И теперь — подробнее о заводе «Виркэн» и его продукции.



:: Производственный цех завода «Виркэн»

### Российское производство

Руководство «Виркэн-Рус» по праву гордится мощным предприятием, расположенном в городе Костерёво Владимирской области и выпускающем продукцию высокого уровня качества и надёжности. Несмотря на экономический кризис и пандемию, оказавших существенное негативное влияние на многие отечественные предприятия, в «Виркэн» сумели не только сохранить стабильность работы, но и выйти на новые технологические рубежи, предлагая потребителю лучшие образцы сантехнических устройств.



:: Сверхплоский сифон **Wirquin Espace**



:: Сиденье из натурального дерева **Black Bamboo**

Если говорить об ассортименте вообще, то на этой производственной площадке выпускается широкий спектр оборудования и аксессуаров — сифоны для моек и раковин, сифоны для ванн, включая продукцию из латуни. Особое внимание уделяется изготовлению сливной и заливной арматуры для бачков унитаза, сидений для унитаза, тросов и шлангов. Некоторые из перечисленных продуктов незаменимы, но незаменимы, так как являются важными элементами систем жизнеобеспечения дома. Без них в современном мире попросту не обойтись.



:: Армированная фановая труба **Wirquin**

Компания производит полный спектр инженерной сантехники, которая будет «верой и правдой» служить её владельцу долгие годы. Высокое качество и надёжность продукции завода «Виркэн» обеспечивается благодаря привлечению квалифицированных кадров, грамотной организации труда и использованию современного технологического оборудования. В целом же безупречный уровень организации всех аспектов деятельности компании подтверждается пройденной сертификацией на соответствие требованиям международного стандарта ISO 9001:2015.



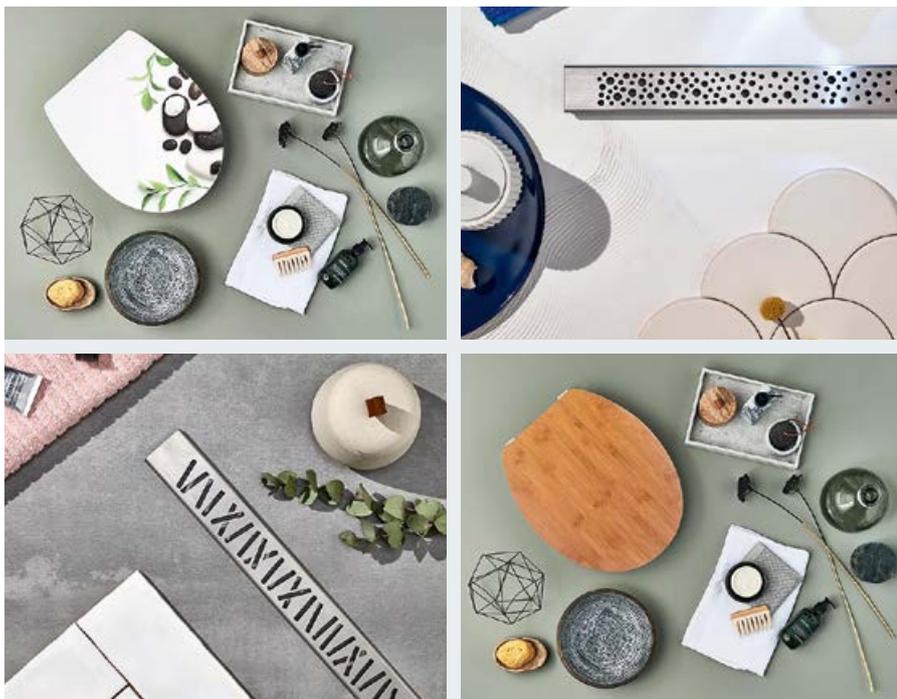
:: Серия сидений «Самара» — бестселлер рынка

Важным направлением для компании является выпуск сидений из дюропласта, в том числе популярной серии-бестселлера сидений «Самара». Уникальность серии заключается в том, что этот элемент комфорта производится в России из дюропласта только предприятием «Виркэн».

Отдельно отметим фановые трубы для унитаза — контроль качества при их изготовлении весьма скрупулёзен.

Компания гордится огромным разнообразием российских сифонов практически для всех типов и конфигураций раковин и моек, представленных на отечественном сантехническом рынке. Сифоны производятся с использованием только первосортного сырья и соответствуют самым высоким стандартам качества.

«Виркэн-Рус» старается неуклонно углублять локализацию производства, и у компании это неплохо получается.



### Клиентская база и репутация

Клиентская база «Виркэн-Рус» охватывает игроков из всех сегментов рынка: это оптовые компании, фирмы-застройщики, производители санфаянса и мебели, торговые интернет-площадки, а также розничный рынок, который включает в себя практически полный список сетевых гигантов. Таким образом, обеспечивается безусловная доступность техники [Wirquin](#) самому широкому кругу конечных потребителей.

Компания строго следует тенденциям рынка, отслеживает курсы валют, деятельность конкурирующих фирм, регулярно проводит мониторинг цен, контролирует рекомендованные розничные

цены и, несмотря на неблагоприятные рыночные условия, весьма успешно делает продукцию всё более финансово доступной для потребителей.

Начиная с прошлого года начались активные продажи товаров под брендом [Wirquin](#) через официальные магазины на «Озоне», Wildberries, «Яндекс.Маркете», «ВсеИнструменты.ру» и на других маркетплейсах: «Виркэн» развивается, не останавливается на достигнутом.

Цифровые продажи ставятся во главу угла как очень перспективные, и в планах компании на будущее — уделять этому каналу реализации продукции всё большее внимание.

Как уже упоминалось выше, продукция бренда [Wirquin](#) представлена в спе-

циализированных торговых сетях, а именно в «Леруа Мерлен», ОВИ, Castorama, «Петрович», «Афоня».

На сегодняшний день «Виркэн-Рус» обеспечила себе полное географическое покрытие Российской Федерации — от Калининграда до Хабаровска, сотрудничая с такими фирмами, как «Вертикаль», «Дюйм», «Санинвест», «Бауцентр», «Лунда», «Пиастрелла», «Крафт», «Истек» и многими другими. При этом отметим, что заказчики компании «Виркэн-Рус» ведут свою деятельность не только на территории Российской Федерации — устройства [Wirquin](#) на регулярной основе закупает организации из Беларуси, Армении, Казахстана и Узбекистана.

«Виркэн» гордится своей репутацией надёжного поставщика и партнёра, обеспечивающего высочайший уровень обслуживания и качества продукции.

### Давайте зарабатывать вместе!

Российское подразделение международной [Группы Wirquin](#), являясь передовым производителем инженерной сантехники, предлагающим «прорывные» продукты, созданные в России, приглашает к сотрудничеству партнёров, нацеленных на развитие своего бизнеса.

По-настоящему серьёзный подход специалистов отдела качества к своей работе, вкуче с использованием только первосортного сырья и проведением грамотной маркетинговой политики, позволили компании достичь очень высоких показателей.

Именно поэтому продукция [Wirquin](#) является гарантом успеха бизнеса партнёров и неуклонного роста числа их благодарных и лояльных клиентов — конечных потребителей. ●



Официальный веб-сайт компании [Wirquin](#)



Официальный YouTube-канал компании [Wirquin](#)



Интерактивный каталог [Wirquin](#) 2023 года



Интерактивный каталог [Virplast](#) 2023 года



КОНТУР.РФ

**КОНТУР**  
ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ

# ТРУБЫ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА РЕ-ХА КОНТУР



- НАДЕЖНОСТЬ
- ЭКОНОМИЧНОСТЬ
- ПРОСТОТА  
И БЫСТРОТА  
МОНТАЖА



## Система защиты при потопе «Аквасторож»: простота монтажа и высокая степень защиты

По статистике, потопы случаются в десять раз чаще, чем пожары и кражи. Установить и пользоваться системой обнаружения и локализации протечек воды в системе водоснабжения считается разумным подходом в организации безопасного жилого пространства.

Система защиты при потопе «Аквасторож» является одним из лидеров на российском рынке в этой отрасли. Безупречная 15-летняя история, тысячи довольных пользователей, ежегодная модернизация продукции, ежедневная поддержка сервисно-консультационной службы, простота установки и удобство пользования выгодно отличают эту систему.

Многие проектировщики, монтажники, руководители строительных организаций и пользователи знают и активно применяют систему «Аквасторож», включая её в проекты водоснабжения и устанавливая в квартирах, коттеджах и других объектах недвижимости.

### Чем же система «Аквасторож» выгодно отличается от аналогов?

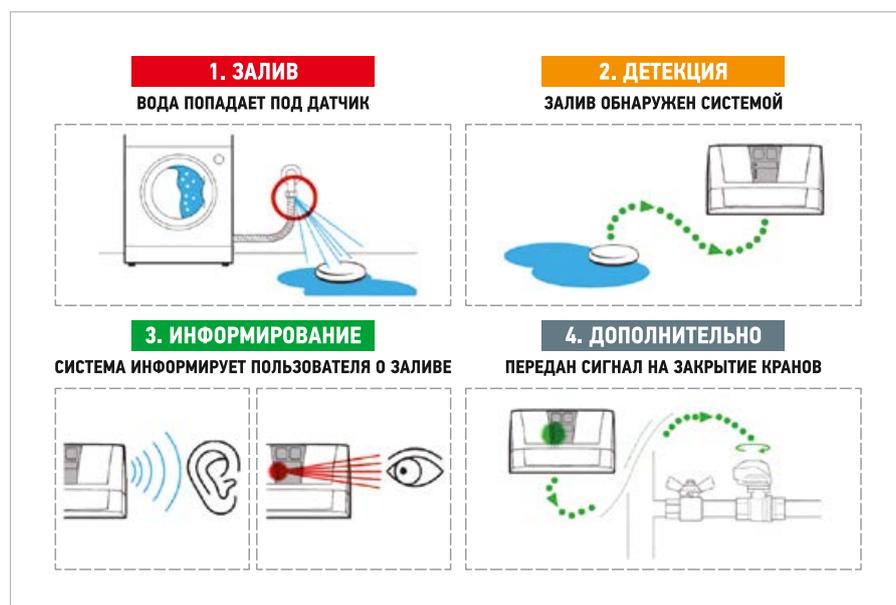
А сейчас мы перечислим основные преимущества системы защиты при потопе «Аквасторож»:

1. Простота установки и эксплуатации: при заливе датчика, расположенного в месте потенциальной протечки, «Аквасторож» сигнализирует о затоплении. Одновременно со звуковым сигналом подаётся команда на перекрытие поступления воды в помещении.

2. Система тройного питания «Аквасторож» в качестве основного источника питания может использовать автономное (батареи 4,5 В) и/или сетевое (адаптер 5 В) питание. При необходимости система способна работать только от батарей до трёх лет. Кроме того, имеет встроенный источник дублирующего резервного питания, позволяющий перекрыть электроприводы перед отключением системы.

**Система защиты при потопе «Аквасторож» отличается простотой установки и эксплуатации. В качестве основного источника питания система может использовать автономное (батареи 4,5 В) и/или сетевое (адаптер 5 В) питание**

3. «Аквасторож» последнего поколения укомплектован итальянскими шаровыми кранами RuB с мощным и компактным электроприводом. На сегодняшний день RuB считаются одними из самых качественных, высокотехнологичных и надёжных шаровых кранов в мире. Это качество,



:: Фото 1. Система «Аквасторож» моментально реагирует на протечку воды



❖ Фото 2. Электропривод «Аквасторож Оригинал» и итальянский шаровой кран RuB

проверенное 200-летней историей существования компании и соответствующее высоким европейским стандартам.

4. Электропривод «Аквасторож Оригинал» — это сочетание мощного крутящего момента 8 Н·м и высокой скорости закрытия (8 с) в миниатюрном изящном корпусе: у воды нет ни единого шанса залить помещение.

5. Система «Аквасторож» удобна и информативна — вся необходимая и понятная индикация о её рабочем состоянии есть на панели контроллера.

6. Подключить систему сможет любой монтажник и просто «рукастый» хозяин: все компоненты присоединяются разъёмами в ответные разъёмы контроллера. По сути, это удобный конструктор «собири сам»: шаровой кран можно монтировать на трубу водоснабжения в любом положении, для удобства монтажа привод легко демонтировать с шарового крана, открутив четыре винта.

7. Система «Аквасторож» представлена в двух вариантах: «Классика» и «Эксперт». «Эксперт» отличается от «Классики» наличием контроля обрыва проводных датчиков и индивидуальной индикацией любой нештатной ситуации.

8. При установке системы надо учитывать стадии ремонта. Начальная стадия позво-

ляет использовать систему с проводными датчиками, что существенно удешевляет проект. При законченном ремонте проще установить систему с датчиками на радиоканале, но можно провести и проводную, проложив провода за плинтусом. 9. «Аквасторож» имеет размеры кранов ½", ¾", 1" и 1¼", что позволяет устанавливать его в систему водоснабжения любой конфигурации.

**Система «Аквасторож» представлена в двух вариантах: «Классика» и «Эксперт». «Эксперт» отличается от «Классики» наличием контроля обрыва проводных датчиков и индивидуальной индикацией любой нештатной ситуации. Гарантия на систему «Аквасторож» составляет два года**

10. Гарантия на «Аквасторож» составляет два года. При возникновении вопросов на любом этапе (покупка, монтаж, эксплуатация) каждый день с 09:00 до 22:00 без выходных и праздников можно получить прямые консультации специалистов собственного сервисного центра. ●



❖ Фото 3. Познакомиться с системой «Аквасторож» можно на официальном сайте [аквасторож.рф](http://аквасторож.рф)

## Некоторые особенности химических уравнений деманганации подземных вод

Удаление марганца при водоподготовке (в основном применительно к подземным водам) для хозяйственно-питьевого водоснабжения — довольно распространённая и непростая технологическая задача. Её решение требует чёткого понимания теоретических основ процесса в виде уравнений химических реакций. В статье представлено краткое описание методов деманганации, показаны недостатки приведённой в специализированной литературе модели, описывающей окисление двухвалентного марганца кислородом.

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



В подземных водах, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, наряду с повышенным содержанием железа может наблюдаться повышенное содержание марганца, предельно допустимая концентрация (ПДК) которого согласно [1] должна составлять не более 0,1 мг/л. При этом задача удаления избыточного марганца является более сложной, чем удаление избыточного железа.

Из курса неорганической химии известно, что марганец (помимо, конечно, металлического марганца) имеет наиболее характерные степени окисления (+2), (+3), (+4) и (+7). Так как большинство соединений двухвалентного марганца хорошо растворимы в воде, то именно катион  $Mn^{2+}$  обычно и является той формой, которая содержится в подземных водах и подлежит удалению в случае превышения нормативных значений. Из соединений марганца со степенью окисления (+2) и (+3) (помимо прочих) наибольшее значение имеют оксиды марганца  $Mn_2O_3$  и  $MnO_2$ , гидроксид марганца  $Mn(OH)_2$ , которые весьма малорастворимы в воде. Степень окисления (+7) обычно ассоциируется с перманганатом калия  $KMnO_4$ , который в качестве реагента нашёл широкое применение, в том числе и в водоподготовке.

Формы марганца, соответственно, определяют способы снижения его концентрации в воде, каковыми являются:

- увеличение окислительно-восстановительного потенциала (ОВП,  $E_H$ ) путём введения в воду сильных окислителей;
- повышение pH воды при недостаточном ОВП ( $E_H$ ) в случае использования слабых окислителей;
- совместное использование сильных окислителей с одновременным повышением pH воды.

В первом и последнем случаях пытаются добиться перевода марганца, находящегося в ионной форме, в малорастворимые  $Mn_2O_3$  и  $MnO_2$ , во втором случае — в малорастворимый гидроксид  $Mn(OH)_2$ .

На практике указанные способы воплощаются в виде следующих технологических решений:

- удаление марганца методом глубокой аэрации с последующим фильтрованием;
- деманганация сильными окислителями (хлором, диоксидом хлора, озоном);
- удаление марганца с использованием перманганата калия;
- деманганация фильтрованием через модифицированную загрузку;
- удаление марганца методом ионного обмена;
- биохимический способ деманганации.



В качестве наглядного пособия в литературе по водоподготовке часто приводят диаграмму Пурбе для марганца, показывающую термодинамически устойчивые формы существования химического элемента (в данном случае марганца) в водных растворах при различных значениях рН и окислительно-восстановительного потенциала (рис. 1).

Из перечисленных выше методов биохимический метод не нашёл сколько-нибудь широкого применения и скорее может рассматриваться как некая экзотика. Ионный обмен для удаления марганца чаще всего используют в малых системах водоснабжения, рассчитанных на несколько потребителей или даже на один дом или квартиру, и почти всегда при необходимости одновременного умягчения воды. Ионообменная смола в этом случае загружается в корпус напорного фильтра с управляющим клапаном, что позволяет создавать компактные и удобные в обслуживании установки.

Примечательно, что среди технологических решений не упоминается повышение рН ради образования малорастворимого  $Mn(OH)_2$ , что можно объяснить с помощью несложных химических расчётов. Известно, что константа гидролиза малорастворимого основания  $K_T$ , которая, по сути, является константой равновесия гидролитической реакции, определяется следующим образом:

$$K_T = K_b / K_d, \quad (1)$$

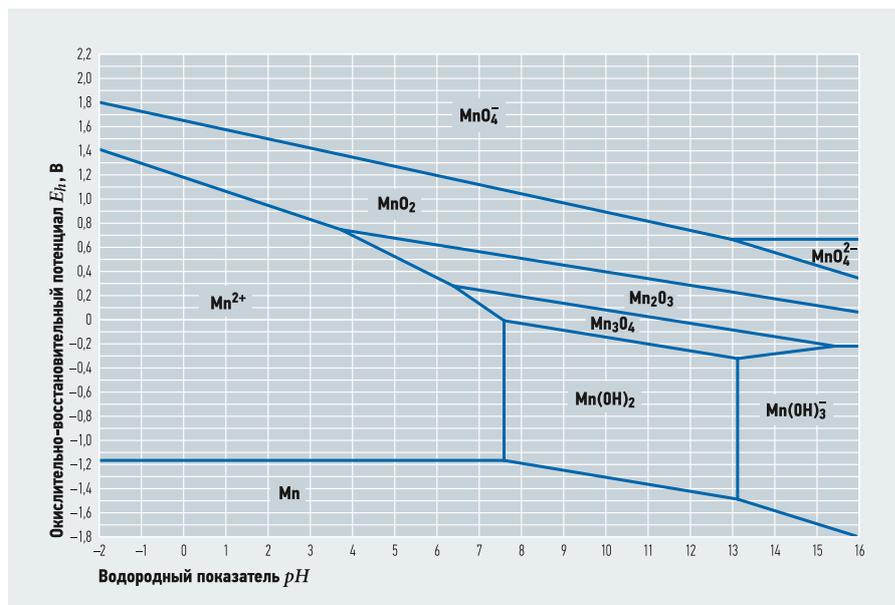
где  $K_b$  — ионное произведение воды,  $K_b = 10^{-14}$ ;  $K_d$  — константа диссоциации основания.

Степень гидролиза, определяющая отношение количества гидролизованного катиона к общему его количеству:

$$h_T = K_T / [H^+]. \quad (2)$$

Гидролиз двухвалентного марганца происходит в две стадии с константами диссоциации  $K_{d1} = 9,1 \times 10^{-4}$  и  $K_{d2} = 5,0 \times 10^{-4}$ , соответственно. Расчёты показывают, что добиться степени гидролиза «1», то есть когда весь двухвалентный марганец гидролизуется, можно при рН не менее 11, что нецелесообразно с практической точки зрения и не соответствует требованиям [1] по значению рН.

Таким образом, все основные промышленные способы деманганации воды являются окислительными, различается только тип реагента и аппаратное оформление технологии. Соответственно, и уравнения реакции должны быть окислительно-восстановительными, которые учитывают изменение степени окисления у атомов реагирующих веществ. Окисли-



⌘ Рис. 1. Диаграмма Пурбе для марганца

телями в таком случае могут быть кислород воздуха (или технический кислород), соединения хлора, перманганат калия, озон. Каждый из этих окислителей полезно рассмотреть отдельно с точки зрения химии процесса.

Стоит отметить, что описанные в литературе методы, такие как глубокая аэрация с последующим фильтрованием, каталитическое окисление марганца, фильтрование через модифицированную загрузку, в любом предполагают использование кислорода в качестве окислителя. Данный вывод следует из характера самих окисли-

ваний аэрированной и подщелаченной воды на песчаной загрузке образуется слой, состоящий из отрицательно заряженного гидроксида марганца  $Mn(OH)_4$ , который адсорбирует положительно заряженные катионы  $Mn^{2+}$ ; гидролизуясь, эти ионы реагируют с осадком  $Mn(OH)_4$ , образуя полтораоксид  $Mn_2O_3$ ; таким образом, в результате снова образуется гидроксид марганца (+4), который опять участвует в процессе окисления в качестве катализатора.

Уравнения (3) и (4), однако, вызывают определённые вопросы.

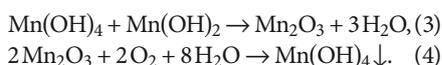
Во-первых, на диаграмме Пурбе нет такого соединения, как гидроксид марганца  $Mn(OH)_4$ . Из литературных источников следует, что  $Mn(OH)_4$  является неустойчивым соединением, проявляющим амфотерные свойства (способность проявлять свойства как кислоты, так и основания), которое при комнатной температуре разлагается до  $MnO_2 \cdot nH_2O$  и иных форм гидроксида марганца. Каким образом  $Mn(OH)_4$  может образовывать слой осадка, не вполне понятно.

Во-вторых, если в уравнении (4) марганец окисляется от степени окисления (+3) до (+4), то этому уравнению должна соответствовать определённая полуреакция окисления. Однако автору неизвестно ни одной такой полуреакции, где происходило бы превращение трёхвалентного марганца в четырёхвалентный с образованием  $Mn(OH)_4$ .

Ни в одном из уравнений (3) и (4) не показан механизм окисления растворённого двухвалентного катиона марганца до трёх- и четырёхвалентного, что, собственно, и является сутью процесса окислительной деманганации.

**Все основные промышленные способы деманганации воды — окислительные, различается только тип реагента и аппаратное оформление технологии. Соответственно, и уравнения реакции должны быть окислительно-восстановительными**

тельно-восстановительных реакций, которые предполагают, что окислитель принимает такое же количество электронов, которое отдаёт восстановитель. Уравнения химических реакций в этом случае обычно записывают как:



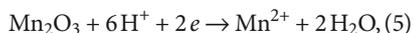
К ним даётся следующее пояснение: предварительно осаждённые на поверхности зёрен загрузки оксиды марганца оказывают каталитическое влияние на процесс окисления марганца растворённым в воде кислородом; при фильтро-



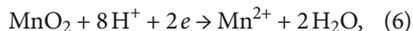
•• Установка AdEdge в городе Розуэлле, штат Джорджия (США), обеспечивает очистку сточных вод на уровне менее 0,3 мг/л по железу и менее 0,05 мг/л по марганцу

Оба оксида марганца  $Mn_2O_3$  и  $MnO_2$  мало-растворимы в воде, поэтому не вполне понятно, в какой форме марганец накапливается в осадке — данных об этом недостаточно (считается, что  $MnO_2$  — более устойчивое соединение).

Приведём две основных (на взгляд автора) полуреакции окисления  $Mn^{2+}$  до малорастворимых форм:



здесь стандартный электродный потенциал полуреакции составляет  $E_0 = +1,443$  В.



здесь стандартный электродный потенциал полуреакции равен  $E_0 = +1,507$  В.

В полуреакциях (5) и (6) двухвалентный марганец окисляется до степени окисления (+3) или (+4), то есть является восстановителем. Если предполагать, что окисление происходит за счёт кислорода, то полуреакция окисления должна быть дополнена полуреакцией восстановления с участием  $O_2$ . Однако из известных подобных полуреакций наиболее высоким стандартным электродным потенциалом обладает полуреакция:



здесь стандартный электродный потенциал полуреакции равен  $E_0 = +1,228$  В; окислителем является кислород.

Условием протекания окислительно-восстановительной реакции является превышение  $E_0$  окислителя над  $E_0$  восстановителя, что в данном случае не соблюдается. Следовательно, реакция окисления двухвалентного марганца кислородом с точки зрения термодинамики самопроизвольно протекать не может.

Вероятно, поэтому удаление марганца из воды является столь непростой задачей и достигается далеко не всегда безреагентными методами (применение кислорода воздуха в качестве окислителя считается безреагентным методом).

Известно, что для эффективного окисления двухвалентного марганца кислородом рекомендуется подщелачивание воды, а также требуется соблюдение соотношения  $Fe^{2+}/Mn^{2+} = 7-10$ , что никак не отражается в уравнениях (3) и (4). Это дополнительный довод в пользу того, что механизм деманганации более сложен, чем согласно (3) и (4). Упоминание о каталитическом действии соединений марганца, железа, меди (используемых в виде реагентов или выделившихся при водоподготовке) не может убедительно объяснить протекание процесса деманганации окислением с помощью кислорода, так как катализаторы, ускоряя ход химической реакции, тем не менее не позво-

ляют осуществляться термодинамически невозможным реакциям. В данном случае отмечается превышение стандартного электродного потенциала полуреакции окисления ( $Mn^{2+} \rightarrow Mn^{3+}$ ,  $Mn^{2+} \rightarrow Mn^{4+}$ ) над стандартным электродным потенциалом полуреакции восстановления ( $O^0 \rightarrow O^{2-}$ ). Следовательно уравнения реакции окисления двухвалентного марганца с образованием малорастворимых веществ должны иметь иной вид, чем это следует из выражений (3) и (4).

Механизм окисления двухвалентного марганца различными химическими реагентами (соединениями хлора, озонном, перманганатом калия) должен быть также представлен в виде соответствующих химических реакций, где восстановителем будет двухвалентный марганец, а окислителем — тот или иной химический реагент, о чём следует рассказать в отдельной публикации.

## Выводы

Безреагентное удаление марганца из воды часто имеет невысокую эффективность и нестабильно. В данной статье отмечено, что описание явления с помощью химических уравнений (3) и (4) (обычно в этом случае говорят о безреагентной технологии деманганации) является не вполне корректным с точки зрения химии. Дальнейшие исследования должны дать более полные и достоверные сведения относительно механизма окисления двухвалентного марганца без использования химических реагентов, что позволит обеспечить необходимые условия для более полного удаления марганца из воды. Кроме того, необходимы исследования состава осадка станций деманганации воды (чаще всего они являются и станциями обезжелезивания воды) для получения более точных сведений о формах марганца после его окисления при водоподготовке. ●





**МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА  
ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ  
ДЛЯ ВОДНОЙ ОТРАСЛИ**

**12-14  
СЕНТЯБРЯ  
2023**

**МОСКВА, КРОКУС ЭКСПО**



**Место встречи  
профессионалов водной отрасли  
с поставщиками технологий,  
оборудования и услуг для решения  
водохозяйственных задач**

Принять участие



ООО «ЭВР» | РЕКЛАМА

Организатор:  ExpoVision  
Rus

**WWW.ECWATECH.RU**



## ВГР. Форсаж 2023!

2022 год был богат на геополитические события, многие из которых вызвали серьёзные изменения на рынке инженерных систем. Санкции Евросоюза и их поддержка отдельными странами Азии вынудили бизнес адаптироваться для продолжения поставок продукции на рынки России и Беларуси. Перестройка логистики, поиск доступных материалов и комплектующих для производства, изменение законодательства на годы вперёд определили новые векторы развития бизнеса в РФ. Эти изменения затронули и работу [ООО «Вайлант Групп Рус»](#).

Автор: А.А. ДАШУНИН,  
генеральный директор [ООО «ВГР»](#)

### Ситуация на рынке

Дефицит продукции [Vaillant](#) и [Protherm](#) особенно остро чувствовался в середине 2022 года. Адаптация к новым условиям и логистическим маршрутам заняла некоторое время, однако, благодаря приложенным усилиям, слаженной работе и профессионализму команды, уже в четвёртом квартале 2022 года практически вся номенклатура газового и электрического оборудования под торговыми марками [Vaillant](#) и [Protherm](#) находилась на наших складах в Брянске, Екатеринбурге и Новосибирске.

В феврале 2023 года наши склады и склады партнёров пополнились всей необходимой номенклатурой запасных частей для гарантийного и постгарантийного обслуживания (фото 1).

Мы постоянно анализируем отечественный рынок и видим, что рыночная конъюнктура за прошедший год санкционных ограничений довольно сильно преобразилась. Полученная аналитика от разных исследовательских агентств хоть и разнится, но общий вывод заключается в том, что рынок отопительного оборудования в РФ в 2022 году вырос по отношению к 2021-му. Вероятно, одним из основных «драйверов» стали как раз введённые санкции, которые создали ажиотажный спрос на отопительное оборудование во втором квартале прошедшего года. Впрочем, ажиотаж коснулся не только отопительной продукции, но и большинства товаров поставляемых из Европы.



На правах рекламы.

✦ А. А. Дашунин, директор [ООО «ВГР»](#)

Можно констатировать, что рост инженерного рынка не ограничился только прошлым годом. Данные за первое полугодие (в особенности за I квартал) 2023 года демонстрируют, что рост к аналогичному периоду прошлого года сохраняется, несмотря на все санкции и ограничения.

### Поставка оборудования

Полностью восстановив поставки всей номенклатуры газового и электрического оборудования в РФ, мы приступили к реализации оборудования на рынке Республики Беларусь, который также столкнулся с нехваткой поставок в 2022. Хочу отметить, что в нашем портфеле сохранилась вся европейская номенклатура продукции за исключением незначительной части аксессуаров, вентиляции и бойлеров косвенного нагрева, попавшие под санкционные ограничения. В настоящий момент эти позиции мы получаем с азиатских заводов [Vaillant Group](#).



✦ Фото 1. Первая партия запасных частей, поступившая в начале 2023 года

В четвёртом квартале прошлого года на российском рынке мы представили высококачественные бойлеры косвенного нагрева до 200 л (фото 2), производимые в Китае, которые были очень положительно приняты клиентами. Высокий спрос на новые бойлеры дал нам возможность в марте 2023 года расширить их линейку моделями до 500 л. В ближайшее время ООО «ВГР» дополнительно выведет на рынок Российской Федерации премиальные бойлеры косвенного нагрева под собственным брендом VGR.

Помимо бойлеров косвенного нагрева, мы уже везём первые партии обновлённой вентиляции [Vaillant](#), которая по характеристикам превосходит европейские аналоги.

Котельное оборудование, которое уже десятилетиями пользуется неизменно высоким спросом и любовью российских покупателей, по-прежнему производится на европейских заводах [Vaillant Group](#). Мы продолжим поставлять эти высококачественные котлы на рынок Российской Федерации и Республики Беларусь.

#### Поставка запасных частей

Пожалуй, самой ощутимой проблемой в 2022 году был недостаток запасных частей, так как санкционные ограничения довольно жёстко коснулись именно этой продукции. По разным оценкам, от 60 до 85% номенклатуры запасных частей по-



❖ Фото 2. Первая партия новых бойлеров косвенного нагрева [Protherm](#) объёмом до 200 л

пали под санкции, хотя и являются частью абсолютно мирного продукта. Поскольку без стабильных поставок запасных частей не будет продаж основного оборудования, нами были предприняты нестандартные меры, которые обеспечили наличие всей номенклатуры на нашем складе и на складах наших партнёров в 2023 году. И если вдруг каких-то артикулов всё же не окажется на складах, то их можно приобрести «под заказ». На сегодняшний день мы уже обеспечили регулярность поставок запасных частей на ежемесячной основе и планомерно снижаем их стоимость.

#### Продукты и прогнозы

Располагая широкой номенклатурой оборудования, мы постоянно анализируем рыночные тенденции с целью обеспечить рынок необходимым продуктом в нужном количестве по оптимальной цене. Одним из таких продуктов является электрический котёл [Protherm Ray](#), более известный как «Скат», который до сих пор, по мнению исследовательских агентств, является эталоном при создании аналогов у конкурентов. В последние пять лет спрос на [Protherm «Скат»](#) в России всегда превышал предложение. В 2023 году мы с уверенностью можем сказать, что готовы обеспечить весь спрос на электрические котлы. Уже сейчас мы имеем в наличии несколько тысяч единиц [Protherm «Скат»](#). Учитывая акцию и наличие оборудования, мы не сомневаемся, что данный продукт сохранит за собой позиции лидера среди электрокотлов европейского производства (фото 3).

**Для партнёров [Vaillant](#), реализующих сложные инженерные проекты, сегодня в наличии на складе в России имеется всё необходимое для реализации инженерных проектов любой сложности. «Динамические пакеты» [Vaillant](#), всегда пользовавшиеся популярностью, снова доступны нашим клиентам**



❖ Фото 3. Самый продаваемый электрокотёл европейского производства на российском рынке

На текущий момент мы видим стабильное снижение спроса на напольные газовые котлы в пользу настенных. Эту тенденцию хорошо отражает высокий спрос на котлы [Vaillant turboTEC](#) и [Protherm «Пантера»](#). На фоне роста спроса на настенные газовые котлы особенно выделяется рост спроса на конденсационное оборудование, что соответствует общемировым трендам на инженерном рынке, это мы видим по растущему спросу на котлы [Vaillant](#) серии [ecoTEC](#) и [Protherm «Рысь Конденсационная»](#).

#### Комплексные решения

Мы знаем, что наши партнёры, реализующие сложные инженерные проекты, предпочитают работать с оборудованием, находящимся в наличии, особенно после событий 2022 года. Сегодня на складе в России мы имеем в наличии всё необходимое для реализации инженерных проектов любой сложности. «Динамические пакеты» [Vaillant](#), всегда пользовавшиеся популярностью, снова доступны нашим клиентам.



Фото 4. Летняя акция «Форсаж 2023» для партнёров «ВГР»

### Дилеры и дистрибьюторы

Усиление работы с оптовыми и розничными партнёрами является нашей приоритетной задачей. В 2022 году на рынке России появилось множество новых брендов (в том числе попаме-бренды, OEM и контрактная сборка), которые в условиях общего дефицита европейской продукции временно заполнили полки магазинов. Однако из-за отсутствия сервисной и гарантийной поддержки, запасных частей и зачастую низкого качества многие наши партнёры начали отказываться от неизвестных продуктов в пользу проверенного оборудования [Vaillant](#) и [Protherm](#).

Для поддержания этого тренда и наших партнёров ООО «ВГР» ведёт активную работу по оптимизации логистических путей и снижению стоимости оборудования и запасных частей. Это позволило нам запустить летнюю акцию «Форсаж 2023» со скидками на отдельные линейки оборудования от 7 до 14%. Акция поможет нашим партнёрам подготовиться к «горячему сезону», который начнётся уже в августе и по нашим прогнозам продлится до конца ноября (фото 4).

### Монтажники инженерных систем

При работе с профессиональной аудиторией мы всегда опирались на два основных критерия: честность и открытость. Поэтому созданное нами сообщество профессионалов [Pro.Expert](#) не ограничивается только программой лояльности для монтажников и продавцов оборудования. Это ещё и постоянная коммуникация через чаты сообщества [Pro.Expert](#) в Telegram, бесплатное обучение в [тренинг-академии «ВГР»](#) (см. QR-код), живое общение с региональными представителями, полезные рассылки и многое другое (фото 5).



Фото 5. Тренинг-академия «ВГР» предлагает обучение командой профессионалов



Процесс обучения в тренинг-академии «ВГР»

В 2022 году полюбившаяся многим монтажникам программа лояльности «[Pro.Expert Монтаж](#)» была временно приостановлена, однако мы сразу пообещали нашим партнёрам перезапустить её на тех же условиях, что и было сделано в начале 2023 года. За все монтажи оборудования были доначислены заслуженные монтажниками баллы.

Важно также отметить, что мы сохранили шкалу получаемых баллов по программе «[Pro.Expert Монтаж](#)», не уменьшая их, и оставили их размер на максимальном и наиболее привлекательном уровне среди аналогичных наших программ (фото 6).

## Сервисные партнёры

Как мы все уже знаем, в 2023 году рынок сервисных услуг претерпевает серьёзные изменения. Это связано с принятием Государственной Думой ФС РФ Федерального закона №71-ФЗ, в котором вводятся ограничения на проведение сервисных работ по газовому оборудованию частными организациями в пользу газораспределительных организаций (ГРО), подавляющим количеством которых являются структуры ПАО «Газпром». Сейчас сложно оценить, какие последствия повлечёт за собой вступление закона в силу, но уже заметна серьёзная обеспокоенность со стороны малого и среднего бизнеса, оказывающего сервисные услуги. Мы ведём активное взаимодействие с га-

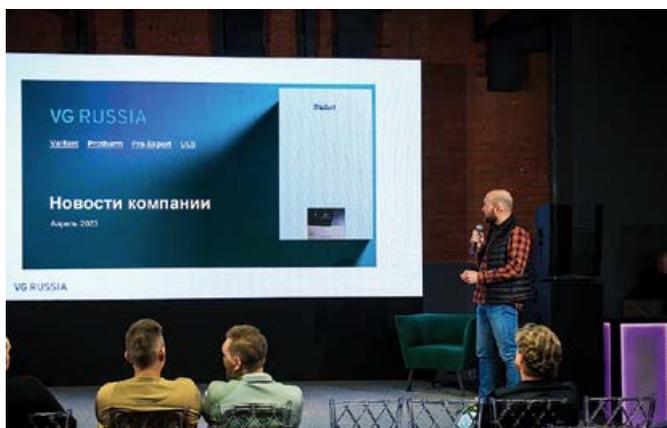


●● Фото 6. Приглашаем профессионалов монтажа в сообщество [Pro.Expert!](#)

ское поле». Наши обновлённые продуктовые сайты находятся по адресам [vaillant.com.ru](#) и [protherm.com.ru](#) и в ближайшее время смогут предложить посетителям дополнительные возможности и новый функционал.

С 2023 года мы активно подключились к совместной работе наших партнёров с монтажной аудиторией и уже провели более 20 семинаров и выставок от Брянска до Иркутска. И это не считая семинаров, проведённых нашей тренинг-академией, география которых гораздо шире — от Махачкалы до Южно-Сахалинска.

В качестве небольшого анонса могу сказать, что второе полугодие станет ещё более продуктивным в части обновления систем, например, таких как «[Pro.Expert](#)



●● Фото 7. Совместное мероприятие для партнёров с «Мастер Ватт», прошедшее в городе Москве в апреле 2023 года



●● Фото 8. Совместное мероприятие для партнёров с компаниями RENAУ и Vandjord в городе Иркутске

зораспределительными организациями и широкой сетью наших сервисных партнёров, чтобы нивелировать возможные последствия таких изменений, как для непосредственно собственников нашего оборудования, так и для сервисных организаций. Но пока сложно оценить весь масштаб грядущих изменений, поскольку скорость изменения законодательства стала неожиданностью для всех участников рынка, включая ГРО.

## Проектные организации

Любая инженерная система должна начинаться с грамотного проекта. Мы всегда придерживались этого правила, поскольку такой подход позволяет ещё на стадии проектирования котельной избежать большинства мелких ошибок и, что самое важное, точно рассчитать объём необходимых материалов и работ, что в конечном итоге сэкономит как денежные вложения со стороны заказчика, так и временные затраты со стороны монтажной организации.

Для упрощения работы проектировщиков мы постоянно обновляем базу

ВМ-моделей поставляемого нами на российский рынок оборудования.

На наших специализированных сайтах [vaillant-mir.ru](#) и [protherm-mir.com](#) выложены в свободном доступе более 90% ВМ-моделей данного оборудования.

## Продвижение

Информирование целевой аудитории является одним из важнейших критериев успеха любой компании. Ещё в прошлом году мы сосредоточились над обновлением сайтов и переводением их в «русский

**Компании «Вайлант Груп Рус» важно, чтобы её партнёр, будь то монтажник, дистрибьютор, дилер, инженерный или сервисный центр уверенно предлагал оборудование [Vaillant](#) и [Protherm](#) конечному потребителю в любой точке Российской Федерации и Республики Беларусь. ООО «ВГР» продолжает помогать партнёрам развивать их бизнес и зарабатывать!**

Продажи и Сервис», а также запуска новых полезных инструментов удобных приложений для наших партнёров и покупателей (фото 7 и 8).

## Заключение

Нам важно, чтобы наш партнёр, будь то монтажник, дистрибьютор, дилер, инженерный или сервисный центр уверенно предлагал оборудование [Vaillant](#) и [Protherm](#) конечному потребителю в любой точке России и Республики Беларусь.

ООО «ВГР» продолжает помогать партнёрам развивать их бизнес и зарабатывать, создавая добавленную стоимость для оборудования [Vaillant](#) и [Protherm](#). Мы делаем это, обеспечивая наличие оборудования и запасных частей на складах по всей России, мощную сервисную и гарантийную поддержку, укрепляя тем самым незаменимое европейское качество продукции. Наша задача в том, чтобы партнёры чувствовали нашу поддержку на каждом из этапов своей работы и были финансово успешны! Это и является основным приоритетом работы команды ООО «ВГР». ●

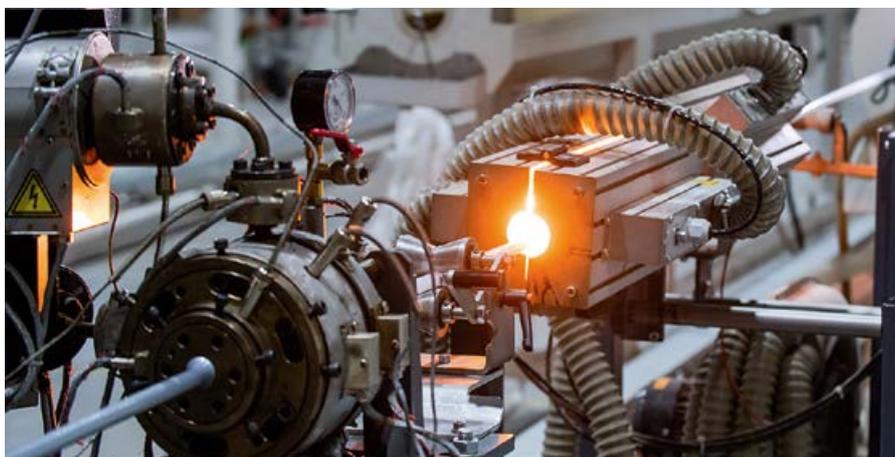
## Как испытываются трубы РЕ-Ха «РОСТерм»

В 2023 году основным фокусом завода «РОСТерм» — крупнейшего российского производителя [труб и фитингов из полимерных материалов \(PP-R/PP-RT/PE-Ха/PE-Хб/PVDF/PPSU/PE-RT/PVC\)](#) — является наращивание мощностей производства трубы РЕ-Ха. Вслед за этим важной составляющей является контроль качества производимой трубы.

### РОСТЕРМ



Завод «РОСТерм» в интернете



Компания «РОСТерм» имеет собственную лабораторию, оснащённую всем необходимым оборудованием для контроля исходного сырья, для проведения гидравлических испытаний труб, фитингов, их соединений и других сложных тестов.

Сегодня речь пойдёт о видах испытательных труб РЕ-Ха «РОСТерм».

Трубы из сшитого полиэтилена РЕ-Ха выпускаются согласно [ГОСТ 32415-2013](#) и [ГОСТ 53630-2015](#). Стандарты ГОСТ регламентируют чёткий перечень проводимых испытаний в лаборатории и требования к данному виду труб.

В принципе, все испытания делятся на несколько видов:

- **приёмо-сдаточные испытания** — при приёмке партии труб службой качества;
- **периодические** — для контроля стабильности качества продукции и возможности продолжения её выпуска;
- **приёмочные** — при приёмке изделий, изготовленных впервые;
- **типовые** — при переходе на новые марки материала или при смене поставщика материала, а также изменениях в рецептуре, при расширении ассортимента и номенклатуры производимых труб и фитингов или при изменении их конструкции;

□ **инспекционные** — испытания, проводимые в выборочном порядке с целью контроля стабильности качества продукции специально уполномоченными организациями.

Разница заключается в программах испытаний и их длительности.

Лаборатория «РОСТерм» осуществляет все виды данных испытаний. Например, проверка «стойкости к внутреннему давлению» может проводиться 22 часа (для приёмо-сдаточных) или 1000 часов для периодических и приёмочных. При этом некоторые испытания проводятся для каждой партии труб, некоторые — раз в шесть месяцев.

Кроме оценки качества, внешнего вида и основных параметров, проводимых непосредственно на линии, используются разрушающие методы контроля качества в [лабораторных условиях](#), что позволяет не только контролировать и регулировать технологический процесс в моменте, но и исследовать отдельные выборочные части партии и/или отдельные технологические изменения и проводить статистический анализ для будущих улучшений.

Здесь мы коснёмся основных видов испытаний, которые проводятся для каждой партии трубы.



Приведём основной перечень проводимых испытаний (каждое из этих испытаний строго регламентировано действующими стандартами):

**1. Размеры и геометрия трубы, проверка целостности и внешнего вида, считываемость и правильность маркировки.** Контроль осуществляется операторами на линии, контролёрами ОТК и отдельно инженерами-лаборантами. При этом используются разные образцы, что позволяет расширить выборку.

**2. Стойкость к внутреннему давлению по методу «вода-в-воде».** Сущность метода состоит в том, что образцы труб подвергаются действию высокого и постоянного внутреннего давления в течение заданного промежутка времени при температуре 95 °С. Иными словами, лаборатория «РОСТерм» проверяет, сможет ли труба выдержать эксплуатацию в течение 50 лет (согласно стандарту) в укороченный срок, увеличивая при этом давление и температуру.

**3. Изменение длины трубы после прогрева до 120 °С.** Отрезок трубы выдерживается в воздушной среде заданный период времени при заданной температуре. На поверхности отрезка трубы наносятся метки, расстояние между которыми измеряется при одинаковых условиях до и после выдерживания его в воздушной среде. Изменение длины трубы после прогрева выражается в процентном отношении изменения длины к первоначальному значению длины.

**4. Определение степени сшивки.** Один из важнейших показателей для труб из сшитого полиэтилена. По сути, это количество связанных между собой молекул



полиэтилена мостиками сшивки C=C («углерод — углерод»). В случае сшитых полиэтиленов именно это свойство материала и труб отвечает и за память формы, и за возможность выдерживать высокие эксплуатационные нагрузки (температуру и давление). Принцип проведения данно-



го теста (хотя и длительного по времени) весьма прост. Воздействие определённых химических реагентов разрушает (растворяет весь несшитый полиэтилен), а молекулы, обладающие связями, сохраняются. И при сравнении массы остатка с начальной массой (до воздействия) мы определяем процент «сшитых» молекул.

**5. Относительное удлинение при разрыве.** Сначала осуществляется вырубка специальной лопатки на прессе. Далее образец устанавливается на растяжную машину и постепенно растягивается. Материал должен соответствовать минимальному значению в 350 %, то есть под воздействием нагрузки лопатка должна удлиниться в 3,5 раза. И чаще всего она даже не рвётся.

**Сегодня компания «РОСТерм» обладает современным оборудованием и большим опытом проведения лабораторных испытаний, что даёт возможность поставлять на стройки России и конечным потребителям только качественное проверенное оборудование**

Это основные виды испытаний, проводимые на поверенном лабораторном оборудовании.

Среди дополнительных методов тестирования, не указанных в ГОСТ, согласно собственным разработкам, в лаборатории «РОСТерм» проверяют:

**1. Качество адгезии барьерного слоя EVOH.** Образец трубы нагревается до определённых температур, и в случае отсутствия вздутий поверхности мы можем быть уверены, что EVOH не вздуется и не разрушится в период эксплуатации.

**2. Совместимость с различными фитингами.** Здесь проверка проста — фитинги должны монтироваться на трубу без каких-либо усилий.

**3. Тест на экспандирование.** Также мы проверяем совместимость различного инструмента для монтажа. Для этого мы используем экспандеры, аналогичные применяемым на рынке. После экспандирования на трубе не должно быть трещин и повреждений — ни основного слоя из сшитого полиэтилена, ни барьерного.

Сегодня «РОСТерм» обладает современным оборудованием и большим опытом проведения лабораторных испытаний, что даёт возможность поставлять на стройки России и конечным потребителям только качественное проверенное оборудование. ●

ОТОПЛЕНИЕ И ГВС



На правах рекламы.

Техническая тепловая изоляция Unionflex на основе вспененного каучука

## Каучуковая теплоизоляция — оптимальный выбор

Предлагаем вниманию читателей интервью с Максимом КУВШИНОВЫМ, генеральным директором компании Unionflex. В разговоре поднимались темы преимуществ и областей использования продукции компании при инженерном обустройстве объектов.

### ❖ Максим, расскажите немного о компании. Чем она занимается?

— С 2018 года мы производим теплоизоляцию на основе вспененного каучука. У нас собственный завод в Орловской области, мы работаем по программе импортозамещения: используем отечественное сырьё и российские инвестиции. Это очень нас выручает, мы не зависим от внешней ситуации и можем бесперебойно поставлять и отгружать товар со склада.

### ❖ Почему вы используете именно вспененный каучук, а не другие материалы?

— Мы видим в этом будущее. К тому же на рынке теплоизоляции не так много игроков с полностью российским капиталом, и в этом плане мы выгодно отличаемся от конкурентов.

У каучука много полезных свойств. Например, благодаря его энергоэффективности трубопроводы гораздо лучше защищены от механических повреждений и служат в два-три раза дольше. Каучуковая изоляция устойчива к агрессивной среде и большим перепадам температур, оберегает материалы от образования грибка, плесени и коррозии.

Почему в сантехнике и отоплении используют нашу теплоизоляцию? Прежде всего из-за минимальной теплопроводности каучука, который сохраняет температуру в трубах и предотвращает образова-

ние конденсата на поверхности. Если мы говорим про огнестойкость, то каучуковая изоляция отлично подойдёт для ПВХ и полипропиленовых труб, поскольку самостоятельное горение ей не грозит, а воспламенится она может только при +306°C. И напоследок про вентиляцию: микропористая структура каучука поглощает звук, благодаря чему кондиционеры работают с едва заметным шумом.

**Каучуковая изоляция обладает высокой энергоэффективностью, устойчива к агрессивной среде и большим перепадам температур, защищает трубопроводы от механических повреждений, коррозии, грибка и плесени**

### ❖ В продолжение темы: в каких областях чаще всего применяют вашу продукцию?

— Прежде всего, это строительство и реконструкция гражданских и промышленных объектов: заводы, жилые комплексы, коттеджи, отели, спортивные комплексы. Затем это нефтеперерабатывающая отрасль, криогеника и промышленный холод — мы обслуживаем танкеры, резервуары для хранения сжиженного природного газа, холодильные установки.

Теплоизоляция Unionflex — ориентир на высокие цели

Улучшенные показатели тепло- и шумоизоляции

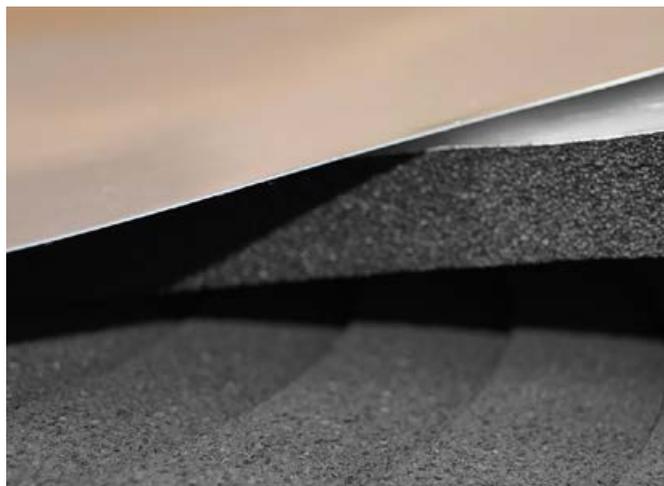
Российское производство полного цикла

[union-flex.ru](http://union-flex.ru)

[info@union-flex.ru](mailto:info@union-flex.ru)

+7 (916) 785-45-64





Могу ещё выделить медицинскую сферу, поскольку наша продукция не содержит асбест. Также работаем с объектами военного и специального назначения.

❖ **В какой степени ваше производство зависит от иностранных материалов?**

— Наше производство от них не зависит. Более того, мы можем нарастить темпы роста, если ситуация с западными поставщиками теплоизоляции осложнится. Как я уже упомянул, мы не зависим от зарубежных инвестиций, геополитической ситуации и западных комплектующих — в этом наше главное преимущество.

❖ **Какие категории теплоизоляционных материалов вы предлагаете?**

— У нас три основных категории теплоизоляции: трубы, рулоны и ленты. Дополнительно производим ещё клей и очиститель. А в каждой категории ещё можем предложить шесть-семь видов покрытий: самоклейка, металл, стеклоткань, фольгированная стеклоткань, титан, алюминиевая фольга и ПВХ.

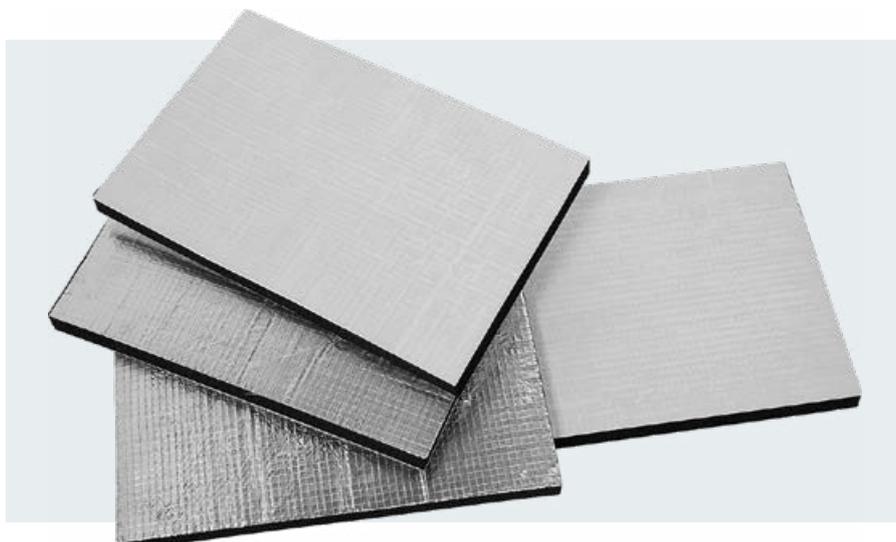
Для каждой задачи применяется своё покрытие: например, для холодильных

**Наши материалы служат 25 лет и более, при этом у них большой температурный диапазон — от  $-90$  до  $+110$  °С. Благодаря собственному заводу и складу мы обеспечиваем бесперебойные поставки и выполняем эксклюзивные заказы, а при необходимости готовы предоставить все сертификаты**

камер мы рекомендуем рулоны со стеклотканью, чтобы избежать перепада температур внутри и снаружи холодильника и уберечь его от конденсата.

❖ **Расскажите о каком-нибудь крупном проекте, где сейчас используются ваши материалы.**

— В данный момент есть несколько таких проектов, но они находятся в процессе реализации, и я не могу о них рассказать.



❖ **Где можно увидеть вашу продукцию?**

— Вы можете запросить образцы, все контакты есть на нашем сайте [union-flex.ru](http://union-flex.ru). Также приглашаем всех желающих посетить наш офис или производство.

❖ **И напоследок: почему стоит выбрать именно вашу теплоизоляцию, а не конкурентов?**

— Наши материалы служат 25 лет и более, при этом у них большой температурный диапазон — от  $-90$  до  $+110$  °С. Благодаря собственному заводу и складу мы обеспечиваем бесперебойные поставки и выполняем эксклюзивные заказы, а при необходимости готовы предоставить все сертификаты. ●

## Кейсы внедрения тепловых насосов прямого кипения на объектах в стандартных и усложнённых условиях

В статье приводятся кейсы внедрения тепловых насосов, работающих по принципу прямого кипения. Данный материал имеет практическую ценность в плане возможности использования предлагаемых подходов к решению технических задач при создании проектов на основе возобновляемых источников энергии в разных регионах страны.

**Авторы:** Алексей ЦЫМБАЛ, генеральный директор компании [LIAN-Technology](#); Александр ГУДКО, главный редактор журнала [СОК](#)

### Инверторный тепловой насос в одноэтажном жилом доме

В 2021 году к нам поступил заказ о модернизации системы теплоснабжения частного одноэтажного жилого дома площадью 140 м<sup>2</sup>, возведённого из клеёного бруса. На момент начала взаимодействия с заказчиком населённый пункт — деревня Трофимово Смоленской области — газифицирован не был. Кроме того, объект имел ограниченное электроснабжение. Основной целью владельца дома клиента было высвобождение электрических мощностей и снижение эксплуатационных затрат на электроотопление. Система энергоснабжения уже существовала и функционировала: источником тепла служил электродкотёл мощностью 12 кВт.



❖ Инверторный тепловой насос [LIAN-HW 12.2 direct exchange](#) в одноэтажном жилом доме

После завершения проектирования предстоял непосредственный монтаж системы. Особенностью и осложняющим фактором данного этапа стало отсутствие завершающего полукторакилометрового участка дороги до объекта. Преодолеть это расстояние с помощью автотранспорта не представлялось возможным, и добраться до деревни можно было на квадроцикле или пешком. Таким образом, оборудование, буровую станцию и комплектующие монтажники приносили и выносили практически на руках.

В ходе реализации проекта на участке заказчика был смонтирован цилиндрический буровой кессон диаметром 2 м и глубиной в нижней точке 1,3 м. Из кессона специалисты произвели наклонно-кластерное бурение геоконтуров 24 скважин по 15 м каждая. Таким образом, общая протяжённость геоконтуров составила 360 м. Далее опустили коаксиальные

Активным элементом теплонасосной системы является инверторный тепловой насос [LIAN-HW](#), с максимальной теплопроизводительностью 12 кВт. Тепловой насос обычно подключается к уже действующей радиаторной системе отопления или к тёплым полам, а его режим работы регулирует погодозависимая автоматика

медные зонды и в кессоне установили приёмно-возвратный коллектор и балансирующие элементы, после чего основная магистраль была введена в котельный узел дома.

Активным элементом инженерной системы стал инверторный тепловой насос [LIAN-HW 12.2 direct exchange](#) максимальной теплопроизводительностью 12 кВт, подключённый к уже действующей радиаторной системе отопления. В качестве дополнительной опции, позволяющей обеспечить оптимальный режим функционирования, стал погодозависимый алгоритм работы. Следует отметить конструктивную особенность объекта: площадь помещения котельной всего 0,8 м<sup>2</sup>, поэтому дверь на улицу закрывается прямо в тепловой насос — с зазором 2 см.

В результате произведённых работ было высвобождено 9 кВт электрических мощностей.

### Тепловой насос для дома-бани

Данный проект был реализован в городе Дубна Московской области. Объект представлял собой небольшой дом-баню из клеёного бруса площадью около 100 м<sup>2</sup>. Внутренняя система отопления дома — тёплые полы.



❖ Одноэтажный дом-баня площадью 100 м<sup>2</sup>

Основная проблема заказчика заключалась в серьёзной ограниченности доступной электрической мощности — на участок было выделено всего 5 кВт при отсутствии газификации.

Клиент хотел решить данную проблему, обеспечив себе комфортное круглогодичное проживание без ручных операций с минимальными эксплуатационными затратами. Было принято решение о проектировании и монтаже геотермальной системы отопления на основе инверторного теплового насоса [LIAN-HW 12.2 direct exchange](#) максимальной теплопроизводительностью 12 кВт.



❖ Коллектор теплового насоса у дома-бани

Обследование объекта показало, что работа предстоит в условиях довольно сложных грунтов, изобилующих валунами и твёрдыми фракциями. На участке смонтировали цилиндрический буровой кессон диаметром 2 м и глубиной нижней точки 1,3 м. Несмотря на сложные грунты, за три буровых смены из кессона было произведено наклонно-кластерное бурение геоконтура общей протяжённостью 360 м (24 скважины по 15 м). После опускания коаксиальных медных зондов в кессоне установили приёмно-возвратный коллектор и балансирующие элементы, а основную магистраль ввели в котельный узел дома, где и был установлен инверторный модуль (тепловой насос). Установленный тепловой насос ограничили по энергопотреблению до 2 кВт.

С учётом того, что грунт невероятно обводнённый, а система отопления — низкотемпературная, тепловой насос работает с высоким показателем COP. Инженерная система функционирует по погодозависимому алгоритму.



### ТН для двухэтажного дачного дома

Двухэтажный жилой дом площадью 160 м<sup>2</sup>, выполненный из бруса, расположен в посёлке Воргаш Московской области. Коттеджный посёлок, где он расположен, не газифицирован.

Осмотр помещений показал, что, строго говоря, система отопления как таковая отсутствует — дом был обвешан электроконвекторами, включёнными в розетки и переноски. По словам заказчика, вся эта «схема» потребляет внушительный объём электроэнергии, и однажды чуть было не довела до пожара.

Клиент рассчитывал, что новая система энергоснабжения обеспечит ему комфортное круглогодичное проживание с минимальными эксплуатационными затратами и освободит от ручных операций. Также владелец дома просил предусмотреть возможность оставлять объект на долгое время без присмотра.

По результатам обследования объекта и переговоров с заказчиком было принято решение о проектировании и монтаже геотермальной системы отопления, а также внутренней системы отопления.

На основе подготовленной проектной документации на участке смонтировали цилиндрический буровой кессон диаметром 2 м и глубиной нижней точки 1,3 м. Из кессона было произведено наклонно-кластерное бурение геоконтура, состоящего из 24 скважин по 15 м (суммарно 360 м) для размещения в них коаксиальных медных зондов. В кессоне установили приёмно-возвратный коллектор и балансирующие элементы, после чего основная магистраль пошла в котельный узел дома. В помещении был подключён инверторный тепловой насос [LIAN-HW 12.2 direct exchange](#) максимальной теплопроизводительностью 12 кВт.

Вторая часть проекта — внутренняя двухтрубная тупиковая радиаторная система отопления — была организована на стальных панельных радиаторах Kermi 22 и 23 типа и при использовании трубопроводов из металлопласта.

Финансовым результатом проекта стало снижение годовых затрат на отопление в 4,5 раза — до 21,3 тыс. руб. На момент подготовки статьи (лето 2023 года) модуль GSM, установленный для отслеживания и управления инженерной системой, безупречно проработал два сезона.

### Частный дом с ТН и комбинированной системой отопления

Данный проект во многом похож по исполнению на вышеописанные, но имеет некоторые специфические отличия в части организации внутренней части системы отопления. Требование заказчика — обеспечить комфортное круглогодичное проживание без ручных операций с минимальными затратами. К расположенному близ города Подольска Московской области одноэтажному жилому дому площадью 190 м<sup>2</sup>, возведённому из клеёного бруса, не был подведён газ. Кроме того, такая возможность в коттеджном посёлке отсутствовала в принципе.



После проектирования геотермальной системы отопления на участке был смонтирован цилиндрический буровой кессон диаметром 2 м и с глубиной нижней точки 2,6 м. Из кессона специалисты произвели наклонно-кластерное бурение геоконтура общей протяжённостью 360 м, составляемого 24 скважинами по 15 м каждая. В скважинах разместили коаксиальные медные зонды, а в кессоне установили приёмно-возвратный коллектор и балансирующие элементы. Основную магистраль ввели в котельный узел дома. Активным элементом системы теплоснабжения стал инверторный тепловой насос [LIAN-HW 12.2 direct exchange](#), максимальной теплопроизводительностью 12 кВт. Его подключили к исправно работающей комбинированной системе отопления («тёплые полы + радиаторы»).

В результате реализации проекта с 2020 года средние показатели затрат на отопление за два полных сезона составили 21,5 тыс. руб.

### Тепловой насос в условиях Сибири

Этот проект реализован в посёлке Рыбачий Новосибирской области. [Тепловой насос DX](#) установили в небольшом уютном каркасном доме площадью 86 м<sup>2</sup>. Садовое товарищество, где стоит дом, не газифицировано. Основным требованием заказчика (вернее, заказчицы) было обеспечение комфортного круглогодичного проживания без ручных операций и с минимальными эксплуатационными затратами.



•• Тепловой насос в условиях Сибири

Тут сделаем небольшое лирическое отступление, которое даст представление о клиентке, которая, безусловно, сама по себе заслуживает особого внимания, и вот по какой причине. На 60% дом построен её собственными руками — при том, что женщине 76 лет. Она тренер по плаванию, работает с инвалидами. Пример того, как человек в таком возрасте живёт полной жизнью. Где-то когда-то она улыбалась про тепловые насосы и перечитала на эту тематику всё, что могла. Вышла на нас — и в итоге закипела работа.

На участке был смонтирован цилиндрический буровой кессон диаметром 2 м и с глубиной нижней точки 1,3 м. Методом наклонно-кластерного бурения был заложен 360-метровый геоконтур, состоящий из 24 скважин по 15 м. После опускания коаксиальных медных зондов в кессоне установили приёмно-возвратный коллектор и балансирующие элементы. Основная магистраль пошла в котельный узел дома, где и был установлен инверторный тепловой насос [LIAN-HW 12.2 direct exchange](#), максимальной теплопроизводительностью 12 кВт.

Дом прогревается двухтрубной медной тупиковой радиаторной системой отопления на стальных панельных радиаторах «Лидея» 33 типа.

После завершения проекта годовые затраты на отопление дома составили 10,5 тыс. руб.

Мы предоставили клиентке беспроцентную рассрочку на три года. Но, так как заказчица — «девушка» активная, менее чем за год она заработала необходимую сумму и рассчиталась. Дай Бог каждому подобного качества и динамичности жизни в таком возрасте!

### Проект с поэтапной реализацией

Описываемый здесь проект расположен близ города Новосибирска. Владелец трёхэтажного жилого дома общей площадью 360 м<sup>2</sup>, построенного из клеёного бруса, решил обеспечить себя надёжной инженерной системой в условиях отсутствия в посёлке газификации.

Обязательным условием клиента было отсутствие ручных операций. Финансирование строительства изначально было заявлено ограниченное.

В соответствии с этим в 2020 году планировалось установить лишь один модуль для обогрева первого этажа. В 2022 году установили вышли на отделку второго этажа и смонтировали там второй модуль. В 2023-м запланирована установка третьего, призванного обогревать цоколь и гараж.



•• Проект с поэтапной реализацией

Реализацию проекта начали с заготовки двух внешних цилиндрических буровых кессонов диаметром 2 м, а также технологических каналов для прокладки фреоновых магистралей. Кессоны пришлось делать большой глубины — с нижней точкой 2,6 м. Из них было произведено наклонно-кластерное бурение геоконтуров общей протяжённостью 720 м (48 скважины по 15 м) с последующей установкой в него коаксиальных медных зондов. В кессонах монтажники установили приёмно-возвратные коллекторы и балансирующие элементы, а основные магистрали ввели в котельный узел дома.

В котельном помещении смонтировали каскад инверторных тепловых насосов [LIAN-HW 12.2 direct exchange](#), максимальной теплопроизводительностью 24 кВт, и подключили его к уже действующей системе отопления (тёплым полами). Дополнительно был обеспечен погодозависимый алгоритм работы системы.

### Глушь — не преграда

Интересный объект, который заслуживает описания, — инженерная система геотермального отопления, смонтированная в 2019 году в одноэтажном жилом доме на берегу Обского водохранилища, что в Новосибирской области. Строение было возведено из клеёного бруса и имело площадь 190 м<sup>2</sup>. В зимнее время жилище доступно только на снегоходе, дорога отсутствует. Иными словами, вокруг практически никого и ничего нет.



•• Глушь — не преграда

Объект — с интеграцией. Принципиальные требования у заказчика были обеспечить работу системы таким образом, чтобы можно было отказаться от содержания котлегаара на зимовке, минимизировать эксплуатационные затраты. Кроме того, ему хотелось избавиться от копти угольного котла — сама местность очень чиста, и дышать загрязнённым воздухом при этом было досадно.

На участке смонтировали цилиндрический буровой кессон с глубиной нижней точки 2,6 м, и из него наклонно-кластерным способом пробурили геоконтур общей протяжённостью 360 м (24 скважины по 15 м). Прочие элементы и работы были стандартными: коаксиальные медные зонды, установка в кессоне приёмно-возвратного коллектора и балансирующих элементов и введение основной магистрали в котельный узел дома.

Активным элементом системы стал инверторный тепловой насос [LIAN-HW 12.2 direct exchange](#), максимальной теплопроизводительностью 12 кВт и подающий тепло на действующую радиаторную систему отопления.

Правда, последнюю пришлось немного модернизировать под температуру подачи до +55°C. На сегодняшний день объект находится в эксплуатации четвёртый сезон. Задачи, поставленные заказчиком, выполнены: котлегаара нет, и за всё время его отсутствия ни разу не жгли уголь и не включали электродкотёл.

### Кузбасский опыт

Этот проект был одним из первых, в ходе которого был установлен [тепловой насос DX](#) на Кузбассе. Объект представляет собой одноэтажный жилой дом комбинированного типа (брус + каркас) площадью 170 м<sup>2</sup> в городе Прокопьевске. Расположен прямо на территории Зиньковского парка — одного из основных мест культурного досуга и отдыха жителей. Как следствие, сжигания угля в этой местности исключено. При этом коттеджный посёлок не газифицирован. Заказчик зимнее время предпочитает проводить в жарких странах, потому требовалась стабильная, экономичная система отопления, и выбор пал на тепловой насос.

Главным требованием заказчика стало комфортное круглогодичное проживание в доме без ручных операций и при этом с минимальными эксплуатационными затратами.

После проектирования была смонтирована геотермальная система отопления. Первоначально на участке был вкопан цилиндрический буровой кессон диаметром 2 м и глубиной нижней точки 2,6 м.



❖ Кузбасский опыт

Из кессона монтажники произвели наклонно-кластерное бурение геоконтура общей протяжённостью 360 м, состоящего из 24 скважин по 15 м. Далее опустили коаксиальные медные зонды и установили в кессоне приёмно-возвратный коллектор и балансирующие элементы. Основную магистраль ввели в котельный узел дома.

После этого в жилище появился инверторный тепловой насос [LIAN-HW 12.2 direct exchange](#), как и в ранее описанных проектах, имеющий максимальную теплопроизводительность 12 кВт. Далее агрегат подключили к уже действующей системе отопления, включавшей в себя тёплые полы и радиаторы. Объект был благополучно введён в эксплуатацию.



❖ «Хай-тек»-проект в Академгородке города Новосибирска

Позже, при встрече с клиентом, мы узнали, что он один из немногих, кто не испытал стресс вследствие введения на Кузбассе дифференцированного тарифа на электричество. По итогам использования системы средние сезонные затраты на отопление составили около 17 тыс. руб.

### «Хай-тек»-проект

Далее речь пойдёт об одном из «топовых» проектов. Расположен он в Академгородке города Новосибирска. Двухэтажный кирпичный дом для молодой семьи площадью 430 м<sup>2</sup> требовалось обустроить в стиле «супер-хай-тек». Заказчик пожелал установить современные системы отопления и кондиционирования в совокупности с независимой системой электропитания. В итоге было решено спроектировать и установить геотермальную систему отопления, а также жидкостную систему кондиционирования на инверторных чиллерах. И дополнить их солнечной системой электроснабжения — гибридной СЭС, пиковой мощностью до 15 кВт. Также в проект была интегрирована система «умный дом» и много чего ещё интересного.

Систему отопления жилого дома построили на каскаде из трёх тепловых насосов [LIAN-HW-12](#), суммарной теплопроизводительностью 36 кВт. Для работы ТН был смонтирован геоконтур по технологии direct exchange общей протяжённостью 1080 м. Монтаж геоконтура осуществлялся с применением наклонно-кластерного бурения прямо из трёх кессонов, разнесённых на 15 м друг от друга. Бурение заняло всего 12 м<sup>2</sup> площади участка для проведения работ.

Особенность монтажа заключалась в необходимости бурить скважины под геоконтур буквально «из-под спецтехники», так как прямо над горловинами колодцев работал огромный подъёмный кран.

Для отопления установили три инверторных модуля, теплонасосный модуль нагрева ГВС.

В итоге каскад работает на нагрев тёплых полов и приточной вентиляции в доме. Для нагрева ГВС используется бойлер ёмкостью 500 л и дополнительный модуль [LIAN-H-water](#), который преобразует температуру теплоносителя из общей обратной линии отопления для нагрева воды до +65 °С. Годовые затраты на отопление объекта ныне составляют 43 650 руб.

### Энергоснабжение магазина площадью 650 м<sup>2</sup>

Проект этот был реализован в 2019 году в посёлке Сузун, в самой глуши Новосибирской области, буквально «на краю цивилизации».

Материал стен строения площадью 650 м<sup>2</sup> — монолитный опилко-бетон.

На момент обращения заказчика газификация в населённом пункте отсутствовала. Клиент хотел получить отопление здания без ручных операций и с низкими эксплуатационными затратами. Взаимодействие с заказчиком установилось оперативно благодаря тому, что проект был не первым — ранее мы оснастили ему не один объект, так что об экономичности и преимуществах тепловых насосов клиент знал.

После проектирования на участке смонтировали три цилиндрических бу-

ровых кессона диаметром 2 м и глубиной нижней точки 2,4 м. Из кессонов произвели наклонно-кластерное бурение геоконтура общей протяжённостью 1080 м (метраж сложился из 72 скважин по 15 м каждая). Как и в прочих представленных в данной статье проектах, использовали коаксиальные медные зонды, а кессонах установили приёмно-возвратные коллекторы и балансирующие элементы.

По основным магистралям теплоноситель попадал в котельный узел здания, где и был установлен каскад инверторных тепловых насосов [LIAN-HW 12.1 direct exchange](#), максимальной теплопроизводительностью 36 кВт.

Отопление здания магазина производилось водяными тёплыми полами.

Согласно собранному заказчиком данным, за 3,5 сезона с учётом изменений по тарифам им было затрачено на отопление этого объекта 213 072 руб. То есть в среднем по 62 тыс. руб. за сезон, что весьма неплохо для эксплуатации коммерческого здания площадью 650 м<sup>2</sup>.

### Теплонасосная система для магазина площадью 360 м<sup>2</sup>

В завершении «галереи проектов» — об оснащении в 2021 году ТН-источниками тепла магазина площадью 360 м<sup>2</sup>. Стены здания магазина, расположенного в посёлке Усть-Заостровка Омской области, возведены из сэндвич-панелей. По сути, история данного проекта началась с того, что заказчика «прокатили» с газом. Первоначально здание площадью 390 м<sup>2</sup>, предназначенное под коммерческую аренду, было успешно газифицировано. Пришёл якорный арендатор.



❖ Каскад ТН в магазине в пос. Усть-Заостровка

Позже возвели пристройку площадью 360 м<sup>2</sup>. Вот на ней-то газ и закончился. Заказчик полгода ходил по инстанциям, пытался «пробить» дополнительную газификацию, но, увы, с нулевым результатом. В итоге клиент решил на запуск объекта в круглогодичную эксплуатацию, используя энергоснабжение от ВИЭ.

В ходе обустройства геотермальной системы отопления на участке смонтировали два цилиндрических буровых кессона диаметром 2 м и глубиной нижней точки 1,3 м. Из кессонов произвели наклонно-кластерное бурение геоконтура, состоящего из 48 скважин по 15 м каждая и общей протяжённостью 720 м. Всё прочее традиционно: коаксиальные медные зонды, установка в кессонах приёмно-возвратных коллекторов и балансирующих элементов, и затем ввод основных магистралей в котельный узел здания.

Установили каскад инверторных тепловых насосов [LIAN-HW 12.2 direct exchange](#), максимальной теплопроизводительностью 24 кВт.

В здании магазина смонтировали десять канальных фанкойлов и распределительные воздуховоды. Установили локальную автоматику фанкойлов. Суммарно все работы по этому объекту были проведены за семь дней, после чего объект запустили в эксплуатацию, и он вышел в первый свой отопительный сезон. По информации за январь (он в Сибири был очень холодный), на отопление пристройки тепловыми насосами было затрачено 14 тыс. руб., а суммарные затраты на отопление газом здания основного здания торговой точки составили 23 тыс. руб. Отметим, что подобные «радующие глаз и сердце» показатели были достигнуты при использовании погодозависимого алгоритма работы комплексной инженерной системы. ●



❖ Каскад инверторных тепловых насосов [LIAN-HW 12.1 direct exchange](#), максимальной теплопроизводительностью 36 кВт, для энергоснабжения магазина в посёлке Сузун



XX МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ  
ВЫСТАВКА ПО ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ



# КОТЛЫ И ГОРЕЛКИ

## BOILERS AND BURNERS



НОВИНКИ  
ТЕХНОЛОГИИ  
ИННОВАЦИИ  
2023



31 ОКТЯБРЯ – 3 НОЯБРЯ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
ЭКСПОФОРУМ  
[WWW.BOILERS-EXPO.RU](http://WWW.BOILERS-EXPO.RU)



ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ  
ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАРТНЕР:



ОРГАНИЗАТОР:



PROFESSIONAL EXHIBITION & CONGRESS ORGANIZER  
Тел. (812) 718-35-37

# О формировании базы данных цифровой модели системы теплоснабжения здания\*

Рецензия эксперта на статью получена  
09.06.2023 [The expert review of the article  
was received on June 9, 2023]

## Введение

Проблемы структурной и параметрической оптимизации являются весьма актуальными, как для проектирования новых, так и при модернизации существующих систем теплоснабжения (СТ). В рамках структурной оптимизации осуществляется выбор рационального состава системы теплоснабжения и конфигурации тепловой сети, места размещения теплоисточников и их производительности. В странах Северной Европы сегодня создаются СТ четвертого поколения. Проводимые там в последние годы исследования подтвердили технические возможности:

- применения технологий низкотемпературного теплоснабжения;
- расширения использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ);
- снижения расхода теплоты на отопление зданий и потерь теплоты в тепловых сетях;
- расширения возможности и доступности средств автоматизации;
- увеличения роли предиктивной аналитики при прогнозировании потока отказов оборудования в будущих периодах.

Указанные направления в совокупности с соответствием элементов СТ концепции «умный город» и расширением взаимодействия в рамках её идеологии с системами электро- и газоснабжения являются отличительными особенностями СТ четвертого поколения. Считается, чтобы обладать системным свойством устойчивости во времени и пространстве, они должны отвечать ряду требований. К ним относятся:

1. Организация возможности подачи низкотемпературной теплоты в контуры систем отопления и горячего водоснабжения (ГВС) новых и существующих зданий.

2. Создание в ближайшем будущем систем, позволяющих использовать для отопления теплоноситель с температурой не более 50°C подаваемой и около 20°C обратной сетевой воды. Такие условия, в частности, могут быть созданы за счёт увеличения поверхности теплообмена радиаторов, применения теплообменников, встроенных в ограждающие конструкции (пол, стены и потолок), и воздушного отопления.

3. Минимизация расстояния от теплообменника системы вентиляции и ГВС до конечного потребителя.

4. Внедрение адаптивных систем управления, применение которых на основе прогнозных данных по метеоусловиям поможет рассчитывать потребность в тепловой энергии для каждой комнаты. Данные системы управления позволят производить балансировку требуемой тепловой энергии в течение суток и понизить пиковые нагрузки.

5. Использование теплопроводов со сдвоенными теплопроводами в одной изоляции, когда подающая труба находится в центре, а обратная в точке равенства температур изоляции и обратной сетевой воды, что позволит уменьшить тепловые потери, и тем самым исключить потери теплоты от обратного трубопровода.

6. Улучшение качества изоляции трубопроводов, воздухопроводов и теплообменных аппаратов за счёт применения улучшенных теплоизолирующих материалов.

Критерием применимости является повышение энергетической и экологической эффективности, а также возможность интеграции в состав интеллектуальных энергетических систем при условии экономической целесообразности достигаемых эффектов.

УДК 621.1.016. Научная специальность: 2.1.3 (05.23.05).

## О формировании базы данных цифровой модели системы теплоснабжения здания

С. В. Гужов, к.т.н., доцент, [Московский энергетический институт \(НИУ «МЭИ»\);](#)  
А. А. Арбатский, к.т.н., генеральный директор НИИ «Инженерных климатических систем и электроники»; Д. В. Тороп, студент, [НИУ «МЭИ»](#)

Система вентиляции здания является подсистемой для системы теплоснабжения объекта. Распределение тепловой энергии происходит из индивидуального теплового пункта (ИТП). Автоматика отпуска тепловой энергии в систему вентиляции должна быть согласована и работать синхронизировано с автоматикой ИТП. Формирование цифровой модели системы вентиляции здания требует интеграции и взаимодействия систем управления с цифровой моделью системы теплоснабжения здания. Современное состояние системы мониторинга и управления ИТП имеет существенный потенциал развития с точки зрения автоматизируемости и пригодности для последующего формирования цифрового двойника. В статье приведен современный уровень автоматизации ИТП, показаны направления развития. Оценён объём информационной базы и период накопления информации для создания цифровой модели.

**Ключевые слова:** общеобменная вентиляция, цифровая модель, база данных, индивидуальный тепловой пункт, управление, автоматизация.

UDC 621.1.016. The number of scientific specialty: 2.1.3 (05.23.05).

## On the formation of a database of a digital model of the building heat supply system

S. V. Guzhov, PhD, Associate Professor, [National Research University "Moscow Power Engineering Institute" \(NRU "MPEI"\);](#) A. A. Arbatsky, PhD, General Director of the "Engineering Climate Systems and Electronics" Research Institute; D. V. Torop, student, [NRU "MPEI"](#)

The building ventilation system is a subsystem for the facility's heat supply system. The distribution of thermal energy comes from an individual heating point (IHP). Automatic release of thermal energy into the ventilation system must be coordinated and work in sync with the automation of the IHP. The formation of a digital model of the building ventilation system requires the integration and interaction of control systems with a digital model of the building's heat supply system. The current state of the IHP monitoring and control system has significant development potential in terms of automation and suitability for the subsequent formation of a digital twin. The article presents the current level of IHP automation, shows the directions of development. The volume of the information base and the period of accumulation of information for creating a digital model are estimated.

**Key words:** general ventilation, digital model, database, individual heat point, control, automation.

\* Работа выполнена в рамках проекта «Разработка нейросетевого программного обеспечения по прогнозированию спроса на тепловую энергию объектами массового строительства города Москвы» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2022–2024 гг.

### Обоснование необходимости оптимизации системы автоматизации тепловых пунктов

Индивидуальные тепловые пункты зданий (ИТП) работают без постоянного присутствия обслуживающего персонала. Оператор в течение рабочей смены выполняет обходы закреплённых за ним 12–15 тепловых пунктов. Основная задача — поддержание температуры внутри жилых помещений в диапазоне  $+18\dots+22^{\circ}\text{C}$  [1–4].

В настоящее время в ИТП предусматривается размещение оборудования, аппаратуры, приборов контроля, управления и автоматизации, посредством которых осуществляется:

- контроль параметров теплоносителя;
- регулирование расхода теплоносителя и распределение его по системам потребления теплоты;
- отключение систем потребления теплоты;
- защита местных систем от аварийного повышения параметров теплоносителя;
- заполнение и подпитка систем потребления теплоты;
- учёт тепловых потоков и расходов теплоносителя.

### Оптимизация системы автоматизации тепловых пунктов сводится прежде всего к обеспечению автоматизированного интеллектуального анализа надёжности и энергоэффективности работы теплового пункта к реализации системы автоматизации ИТП на одном контроллере совместно с системой диспетчеризации и обеспечению исполнения системой автоматизации соответствующих задач

Для учёта расхода тепловых потоков и расхода воды теплосети предусмотрен в тепловом пункте прибор учёта тепловой энергии в соответствии с «Правилами учёта отпуска тепловой энергии».

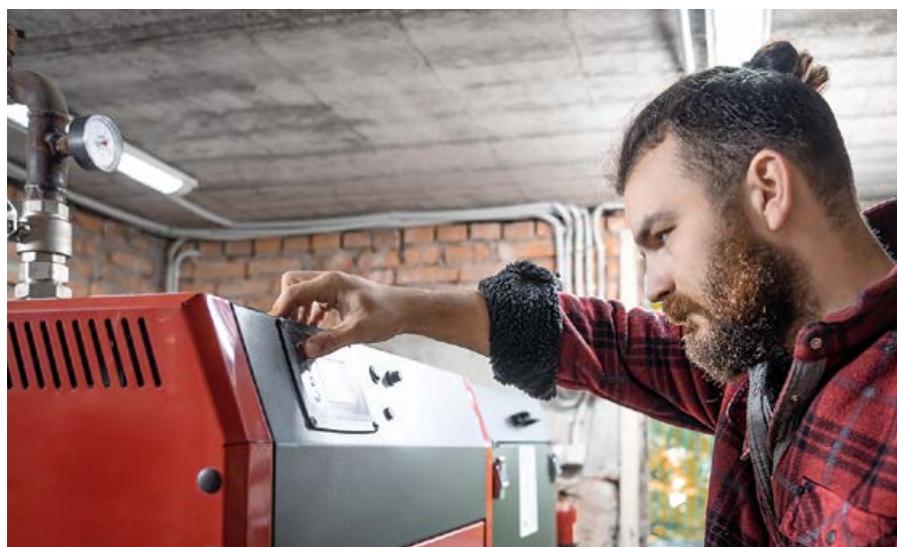
Автоматизация тепловых пунктов обеспечивает:

- поддержание заданной температуры воды  $60^{\circ}\text{C}$ , поступающей в систему горячего водоснабжения путём воздействия на исполнительные механизмы клапана Г–У;
- регулирование подачи теплоты (теплого потока) в системы отопления в зависимости от изменения параметров наружного воздуха с целью поддержания заданной температуры воздуха в отапливаемых помещениях путём воздействия на исполнительный механизм клапана Т–У.

Данная система не использует преимуществ современных схем автоматизации ни для систем отопления, ни для систем вентиляции здания. Поэтому становится возможным сформулировать задачи оптимизации системы автоматизации тепловых пунктов:

1. Обеспечить автоматизированный интеллектуальный анализ надёжности и энергетической эффективности работы теплового пункта в соответствии с технологической картой. Работа системы диспетчеризации должна быть организована следующим образом:

- по запросу с верхнего уровня (ВУ) от АС «Диспетчеризация» передавать текущие значения, архивы и журналы параметров в АС «Диспетчеризация»;



- при возникновении аварийной ситуации (события) отправлять специальное (мгновенное инициативное) сообщение на ВУ;

- на основании мгновенных значений параметров формировать архивы и журналы состояний системы;
- принимать сигналы для синхронизации времени.

2. Реализовать систему автоматизации ИТП на одном контроллере совместно с системой диспетчеризации и обеспечить исполнение системой автоматизации следующих задач:

- регулирование заданных значений температуры и давления в системах отопления и ГВС, заданного перепада давления между подающим и обратным трубопроводами теплосети по ПИД-закону регулирования, а также изменение/коррекция работы ПИ- и ПИД-регуляторов (коэффициенты регулирования  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $T_d$ , ШИМ, ВИМ и т.д.)

- реализацию управления насосными группами в автоматическом и в ручном режимах:

- задание задержки включения между насосными группами ХВС, ГВС, ПО, ЦО (вентиляции), системы компенсации температурного расширения, возможность изменения значений;

- задание задержки времени между переключением насосов в группе — по аварийному вводу резерва (АВР) и в динамическом режиме;

- включение дополнительного насоса (для групп холодного и горячего водоснабжения) по сигналу (дискретному или аналоговому) при недостаточной производительности рабочего насоса (при его наличии);

- задание очередности работы насосов в группе, дистанционное исключение насосов из группы;

- задание динамических режимов работы насосов, по календарной дате, по часам наработки;

- задание времени разгона при включении/переключении насоса при работе с частотным приводом;

- задание числа автоматических сбросов (количество перезапусков) состояния «Авария» со всех насосов группы;

- отключение групп насосов ХВС и ГВС при срабатывании противопожарных насосов.

- останов исполнительного механизма (ИМ) регулирующего клапана (клапанов) системы ГВС при достижении значения температуры в подающем трубопроводе ГВС  $70^{\circ}\text{C}$ , а при превышении значения, его (их) аварийное закрытие;

- запуск насоса подпитки отопления (ПО) и открытие клапана подпитки при отсутствии сигнала нижнего уровня расширительного бака (РБ) открытого типа или по сигналу от датчика-реле давления на обратном трубопроводе системы отопления для мембранного бака;

□ отключение насоса ПО и закрытие клапана ПО при появлении сигнала верхнего уровня РВ открытого типа (независимо от времени заполнения системы отопления) или по сигналу от датчика-реле давления на обратном трубопроводе системы отопления для мембранного бака или по сигналу от датчика-реле давления на обратном трубопроводе системы отопления для мембранного бака;

□ задание времени работы насоса ПО с последующим отключением и закрытием клапана ПО (независимо от отсутствия сигнала верхнего уровня);

□ реализовать алгоритм автоматического отключения насосов ХВС и ГВС при падении давления в городской сети водопровода ниже  $0,6 \text{ кгс/см}^2$ .

3. Реализовать схему управления насосами ГВС и ХВС в режиме частотного регулирования (ЧРП).

4. В системах ГВС ЦТП реализовать автоматическое регулирование температуры горячей воды с нормативным понижением температуры в периоды минимального водоразбора.

5. В системах ЦТП реализовать автоматическое регулирование теплопотребления в зданиях с нормативным понижением температуры в ночной период и выходные дни.

6. Выбрать оптимальный режим ЧРП насосов ГВС: стабилизацию давления на выходе насоса ГВС; стабилизацию давления на входе насоса ГВС; стабилизацию температуры обратной ветви ГВС.

7. Реализовать последовательное включение оборудования ИТП при пропадании питания (перезапуск оборудования) в установленном порядке и с заданием выдержки времени включения между насосными группами ХВС, ГВС, ПО, ЦО (вентиляции);

8. Реализовать режим выдачи рекомендаций инженеру-технологу/оператору теплового пункта по приведению текущих параметров работы ИТП в соответствии с технологической картой.

На основании перечисленного в системе диспетчеризации ИТП должен производиться мониторинг, контроль и передача на верхний уровень следующих параметров и сигналов.

**Входные параметры:**

1. Давление в подающем трубопроводе теплосети  $P_1$ .
2. Давление в обратном трубопроводе теплосети  $P_2$ .
3. Давление в подающем трубопроводе теплосети после клапана перепада давления  $P_{1.1}$ .
4. Температура в подающем трубопроводе теплосети  $T_1$  из теплосчётчика.

5. Температура в обратном трубопроводе теплосети  $T_2$  из теплосчётчика.

6. Давление в городском водопроводе холодной воды  $P_{гор}$ .

7. Температура наружного воздуха  $T_{нв}$ .

8. Наличие напряжения на первом вводе (контроль фазы).

9. Наличие напряжения на втором вводе (контроль фазы).

**Выходные параметры:**

10. Давление в подающем трубопроводе системы отопления  $P_3$ .

11. Давление в обратном трубопроводе системы отопления  $P_4$ .

12. Температура в подающем трубопроводе отопления  $T_3$ .

13. Температура в обратном трубопроводе отопления  $T_4$ .

14. Давление в подающем трубопроводе системы ГВС первой зоны  $P_{7.1}$ .

15. Давление в подающем трубопроводе системы ГВС второй зоны  $P_{7.2}$ .

16. Давление в циркуляционном трубопроводе системы ГВС первой зоны  $P_{13.1}$ .

17. Давление в циркуляционном трубопроводе системы ГВС второй зоны  $P_{13.2}$ .

18. Температура в подающем трубопроводе ГВС (ВПГ1)  $T_{7.1}$ .

19. Температура в подающем трубопроводе ГВС (ВПГ2)  $T_{7.2}$ .

20. Температура в циркуляционном трубопроводе ГВС первой зоны  $T_{13.1}$ .

21. Температура в циркуляционном трубопроводе ГВС второй зоны  $T_{13.2}$ .

22. Давление в подающем трубопроводе холодной воды первой зоны  $P_{хв1}$ .

23. Давление в подающем трубопроводе холодной воды второй зоны  $P_{хв2}$ .

24. Объёмный расход холодной воды на нужды ГВС первой зоны (ВВГ1)  $V_{ГВ1}$ .

25. Объёмный расход холодной воды на нужды ГВС второй зоны (ВВГ2)  $V_{ГВ2}$ .

Параметры от теплосчётчика на вводе в ЦТП:

26. Расход тепловой энергии  $Q$ , Гкал.

27. Температура в подающем трубопроводе  $T_1$ .

28. Температура в обратном трубопроводе  $T_2$ .

29. Массовый расход теплоносителя в подающем трубопроводе  $G_1$ , т/ч.

30. Массовый расход теплоносителя в обратном трубопроводе  $G_2$ , т/ч.

31. Расход теплоносителя на подпитку отопления  $G_{ТП}$ .

32. Время работы теплосчётчика  $C_{нг}$ , ч.

33. Время неработы теплосчётчика при различных ошибках  $T_{ош}$ , ч.

**Эксплуатационные параметры и состояние оборудования:**

34. Насосы  $XH_1, XH_2, XH_3$  первой зоны ХВС1-3 (работа/стоп/резерв/авария/останов).

**Режим работы от сети/ЧРП:**

35. Насосы  $XH_1, XH_2$  второй зоны ХВС1-2 (работа/стоп/резерв/авария/останов).

36. Насосы  $ГН_1, ГН_2$  первой зоны ГВС1-2 (работа/стоп/резерв/авария/останов).

**Режим работы от сети/ЧРП:**

37. Насосы  $ГН_1, ГН_2$  второй зоны ГВС1-2 (работа/стоп/резерв/авария/останов).

38. Насосы  $НО_1, НО_2, НО_{1-2}$  (работа/стоп/резерв/авария/останов).

39. Насосы подпитки  $ПО_1, ПО_2, ПО_{1-2}$  (работа/стоп/резерв/авария/останов).

40. Авария устройства автоматической подстройки частоты (АПЧ) линии холодного водоснабжения (ХВС)  $C_{чПх}$ .

41. Авария устройства автоматической подстройки частоты (АПЧ) линии горячего водоснабжения (ГВС) первой зоны  $C_{чПг}$ .

42. Открытие дверей (несанкционированный доступ) *Дверь*.

43. Температура внутреннего воздуха (помещение ЦТП)  $T_{вв}$ .

44. Влажность воздуха на ЦТП  $M_{вв}$ .

45. Нарушение изоляции ППУ  $C_{ппу}$ .

46. Намокание изоляции ППУ  $C_{ппу}$ .

47. Есть/отсутствует нижний уровень в расширительном баке  $УР_{ПНО}$ .

48. Есть/отсутствует верхний уровень в расширительном баке  $УР_{ПНО}$ .

49. Есть/отсутствует аварийный уровень в расширительном баке  $УР_{ПНО}$ .

50. Время нахождения оборудования в каждом из перечисленных состояний.

51. Состояние группы насосов  $XH$  первой зоны автоматический/ручной  $ГН_{ХВС1}$ .

52. Состояние группы насосов  $XH$  второй зоны автоматический/ручной  $ГН_{ХВС2}$ .

53. Состояние группы насосов  $ГН$  первой зоны автоматический/ручной  $ГН_{ГВС1}$ .

54. Состояние группы насосов  $ГН$  второй зоны автоматический/ручной  $ГН_{ГВС2}$ .

55. Состояние группы насосов  $НО$  автоматический/ручной  $ГН_{ЦО}$ .

56. Состояние группы насосов  $ПО$  автоматический/ручной  $ГН_{ПНО}$ .

57. Состояние регулятора отопления автоматический/ручной  $P_{от}$ .

58. Состояние регулятора подпитки отопления автоматический/ручной  $P_{по}$ .

59. Состояние регулятора температуры ГВС1 автоматический/ручной  $P_{ГВС1}$ .

60. Состояние регулятора температуры ГВС2 автоматический/ручной  $P_{ГВС2}$ .

61. Состояние регулятора давления теплосети автоматический/ручной  $P_{тс}$ .

62. Состояние блока бесперебойного питания (автомат основного питания, АОП), входное напряжение ИБП АОП.

63. Состояние блока бесперебойного питания (автомат резервного питания, АРП), выходное напряжение ИБП АРП.

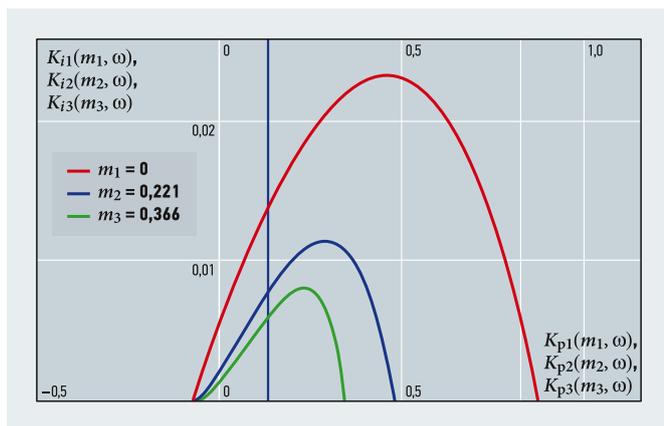


Рис. 2. Зависимость коэффициента передачи интегрального регулятора  $K_i$  от коэффициента передачи пропорционального регулятора  $K_p$

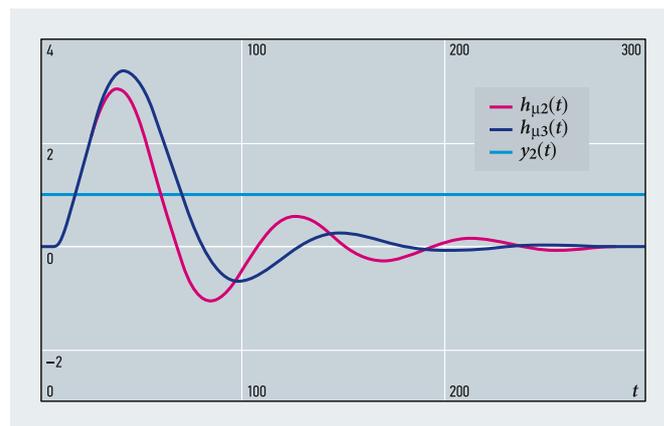


Рис. 3. Переходные процессы одноконтурной замкнутой АСР с ПИ-регулятором и объектом по каналу регулирующего воздействия  $\mu$

### Расчёт комбинированной одноконтурной АСР с ПИ-регулятором

Учёт дополнительной информации в случае применения автоматической структуры регулирования (АСР) с компенсацией возмущений. Действие внешнего возмущения  $\lambda(t)$  компенсируется введением заранее рассчитанного воздействия, которое с необходимым упреждением может быть подано на вход регулятора совместно с задающим воздействием (рис. 1). Введение добавочного канала информации здесь не приводит к появлению нового замкнутого контура передачи воздействия и, следовательно, такое усложнение не влияет на устойчивость.

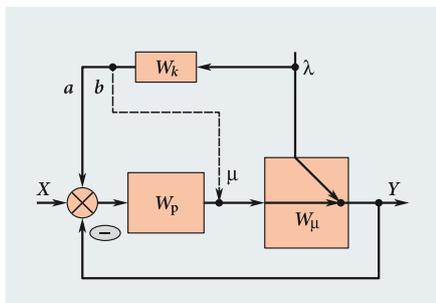


Рис. 1. Схема комбинированной одноконтурной автоматической структуры регулирования

Необходимо рассчитать параметры настройки одноконтурной АСР с ПИ-регулятором таким образом, чтобы линейный интегральный показатель (квадратичный, модульный) был минимальным, а запас устойчивости был не хуже заданного.

Построим расширенную комплексную частотную характеристику (КЧХ) объекта по каналу регулирующего воздействия для трёх заданных значений корневого показателя колебательности  $m_1 = 0$  (на границе запаса устойчивости),  $m_2 = 0,221$ , и  $m_3 = 0,366$  (рис. 2). Для минимизации линейного интегрального показателя необходимо, чтобы отношение  $K_p/K_i$  было максимально возможным (табл. 1). По по-

лученным данным выполнено построение переходных процессов комбинированной одноконтурной АСР с ПИ-регулятором и компенсирующим регулятором по каналу возмущающего воздействия (рис. 3).

Расчёт переходных процессов комбинированной одноконтурной АСР с ПИ-регулятором и компенсирующим регулятором по каналу возмущающего воздействия становится возможным выполнить посредством применения обученной цифровой модели на примере системы теплоснабжения здания. В результате выполнения уточняющих расчётов определяются наиболее эффективные параметры регуляторов, реализация которых позволяет оптимально настроить вентиляцию.

### Определение параметров данных цифровой модели

Проведённый выше анализ демонстрирует, что для формирования базы данных цифровой модели системы теплоснабжения здания на основе уже собираемых параметров и индикаторов требуется относительно небольшая база данных. Проведённый анализ целесообразности требуемой дискретизации сигналов по времени показывает, что для отслеживания, например, таких параметров, как тепловая инерция здания, требуется накопление данных по измерениям не чаще чем один раз в пять минут. В таком случае число измерений составит 105,1 тыс. строк в год.

Поскольку для отслеживания по тепловому пункту было выбрано 63 индикатора, то общий объём базы данных в год составит 6,62 млн значений. Объём цифровой

модели может быть увеличен путём добавления новых данных или при увеличении степени дискретизации по времени. Уменьшение объёма данных приведёт к существенному снижению точности цифровой модели.

Для данного графика степень затухания, то есть относительное уменьшение соседних амплитуд переходной характеристики (берём первую и третью амплитуды), по каналу возмущения без компенсирующего регулятора равна  $\psi = 0,816$ . Степень затухания с компенсирующим регулятором для данного графика составляет  $\psi = 0,813$ .

Иными словами, применение компенсирующего регулятора позволило снизить линейный интегральный показатель точности управления в 2,3 раза, а динамическое отклонение — в 5,2 раза.

Создание цифрового двойника здания позволяет ускорить процессы оптимизации и тонкой настройки системы вентиляции существующих зданий, сократить ошибки и повысить экономичность эксплуатируемой установки. Разработка модели здания возможна на этапе эксплуатации здания. Создание цифрового двойника позволяет протестировать и оптимизировать различные параметры системы теплоснабжения объекта. ●

Значения  $K_p$  и  $K_i$ , определённые из максимумов графика функций табл. 1

$m$	$K_p$	$K_i$	$T_i$
0	0,4576	0,0232	19,759
0,221	0,2997	0,0113	26,481
0,366	0,2348	0,0079	29,575

- СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (с Изм. на 30.12.2022) / Утв. постановлением Главного гос. санитарного врача РФ от 28.01.2021 №2.
  - ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях / Дата введ.: 01.01.2013.
  - ГОСТ 12.1.005–88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изм. №1) / Дата введ.: 01.01.1989.
  - СанПиН 2.1.3.2630–10. Санитарно-эпидемиологические требования к организациям, осуществляющим медицинскую деятельность (с Изм. на 27.11.2022) / Утв. постановлением Главного гос. санитарного врача РФ от 18.05.2010 №58.
- References — see page 78.

# Моделирование и исследование в ПО [Aspen HYSYS](#) и [COMSOL Multiphysics](#) системы отопления путём рекуперации вторичных энергоресурсов

Рецензия эксперта на статью получена 18.05.2023 [The expert review of the article was received on May 18, 2023]

## Введение

Непрерывный рост спроса на энергию в стране заставляет постоянно развивать сеть нетрадиционного энергопроизводства: использовать возобновляемые и вторичные источники энергии, а также решать задачи энергосбережения и повышения энергоэффективности топливно-энергетического комплекса, в том числе и за счёт реализации новых проектов малой энергетики для развития бизнеса и бытовой отрасли.

В этом плане мини-ТЭЦ для малого и среднего бизнеса — это эффективный способ снижения затрат предприятий на электроэнергию и отопление и основа повышения производительности в производственной деятельности. Также это реальный высокотехнологичный объект энергетической инфраструктуры быстро развивающихся регионов и новое слово в сфере электротепловых технических решений, работающих как на природном газе, так и на других источниках энергоресурсов, в том числе и на промышленных, сельскохозяйственных и твёрдых бытовых отходах [1].

За последние 15 лет производство установок такого рода в широком диапазоне мощностей выросло почти вдвое, а сама технология локальной выработки электроэнергии и тепла стала настолько совершенной, что себестоимость одного киловатта выработанного электричества оказывается меньше, чем при потреблении его от городских сетей, а тепловая энергия вырабатывается как дополнительный ресурс [2, 3].

Также важно отметить, что мини-ТЭЦ, например, на основе газопоршневой электростанции, двигатель внутреннего сгорания которой вращает вал генератора для

**Мини-ТЭЦ для малого и среднего бизнеса — это эффективный способ снижения затрат предприятий на электроэнергию и отопление и основа повышения производительности в производственной деятельности**

выработки электроэнергии, имеет высокую адаптивность к различным режимам и уровням нагрузки. При этом тепловую технологическую энергию работающей теплоэлектроцентрали успешно используют для отопления жилья, поскольку современные системы рециркуляции тепловых отходов двигателей позволяют использовать как тепло их выхлопных газов, так и тепловую энергию системы охлаждения механизмов. Необходимо лишь комплектование ТЭЦ водогрейным или паровым утилизационным котлом, либо тепловым насосом (ТН).

Благодаря относительно небольшим размерам и весу для монтажа автономной мини-ТЭЦ требуется лишь подготовленное бетонное основание. В общем случае, как отмечают производители [2, 3], станции работают без капитального ремонта до 30 лет, а с заменой некоторых исполнительных узлов — до 100 лет. Они имеют полностью автоматический режим работы: автоматически регулируется подача топлива и контролируется исправность агрегата в реальном времени. А роль обслуживающего персонала сводится к проведению оперативных переключений, наблюдению и контролю параметров.

Газовые мини-электростанции могут обеспечить электричеством как энергоёмкие предприятия, так и социальные объекты, и небольшие загородные дома.

UDK 62-685, 621.577. Научная специальность: 2.1.3 (05.23.03).

**Моделирование и исследование в ПО [Aspen HYSYS](#) и [COMSOL Multiphysics](#) системы отопления путём рекуперации вторичных энергоресурсов технологических процессов**

**В. А. Сучилин**, д.т.н., профессор; **А. С. Кочетков**, старший преподаватель; **Я. А. Кочеткова**, старший преподаватель, [Российский государственный университет туризма и сервиса \(РГУТиС\)](#), дп. Черкизово Московской области

*Устойчивый рост спроса на энергию в стране заставляет развивать сеть нетрадиционного энергопроизводства: использовать возобновляемые и вторичные энергетические ресурсы и решать задачи энергосбережения и повышения энергоэффективности топливно-энергетического комплекса, в том числе и за счёт реализации новых альтернативных энергопроектов для развития бизнеса и сферы быта. Проведено моделирование и исследование в ПО [Aspen HYSYS](#) и [COMSOL Multiphysics](#) системы отопления путём рекуперации тепла выхлопных газов двигателя газовой мини-ТЭЦ. Представлена методика исследования и даны рекомендации по применению вторичного тепла технологических процессов.*

**Ключевые слова:** вторичные энергетические ресурсы, рекуперация тепла выхлопных газов, тепловой насос, система отопления, хладагент диоксид углерода, транскритический и сверхкритический циклы, моделирование в ПО [Aspen HYSYS](#) и [COMSOL Multiphysics](#).

UDC 62-685, 621.577. The number of scientific specialty: 2.1.3 (05.23.03).

**Modeling and research in [Aspen HYSYS](#) and [COMSOL Multiphysics](#) of the heating system by recovery of secondary energy resources of technological processes**

**V. A. Suchilin**, Doctor of Technical Sciences, Professor; **A. S. Kochetkov**, senior lecturer; **Ja. A. Kochetkova**, senior lecturer, [Russian State University of Tourism and Service \(RGUTiS\)](#), dp. Cherkizovo, Moscow region

*The stable growth of energy demand in the country forces to develop a network of non-traditional energy production: using renewable and secondary energy resources; solving the problems of energy saving and increase the energy efficiency of the fuel and energy complex, including due to the implementation of new alternative energy projects for the development of business and household area. Modeling and research of the heating systems recovery of exhaust gas heat of the gas thermal power mini-plants engine in [Aspen HYSYS](#) and [COMSOL Multiphysics](#) has been carried out. The research methodology is presented and recommendations for the use of secondary heat of technological processes are made.*

**Key words:** secondary energy resources, recovery of exhaust gas heat, heat pump, heating system, refrigerant carbon dioxide, transcritical and supercritical cycles, modeling in [Aspen HYSYS](#) and [COMSOL Multiphysics](#).

В зависимости от исполнения они гарантируют производство электричества в объёме от 5 кВт до нескольких мегаватт. При этом электростанции работают на любом типе газообразного топлива, в том числе и на биогазе.

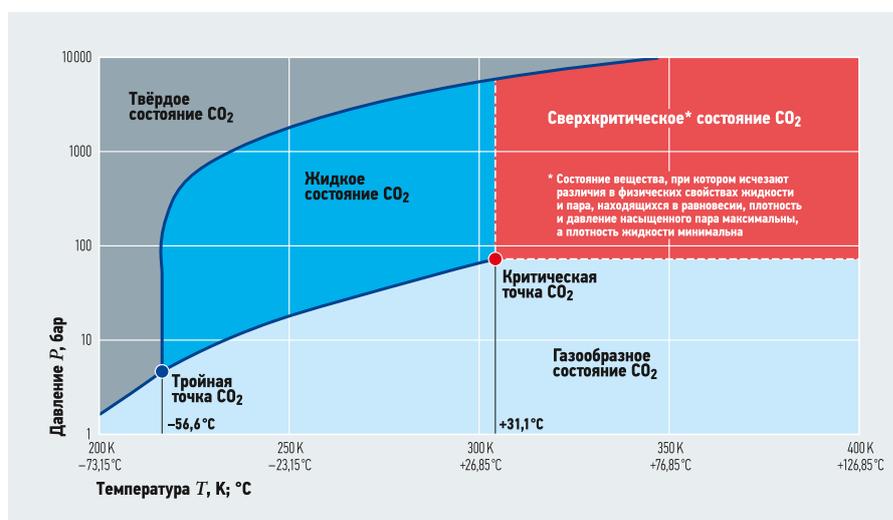
В данной работе решается задача моделирования и исследования системы теплонасосного отопления помещений за счёт рекуперации вторичной энергии двигателя внутреннего сгорания мини-ТЭЦ с помощью ТН. В качестве хладагента рассматривается диоксид углерода (R744 по классификации хладагентов). Такой выбор связан с уникальными термодинамическими и теплофизическими свойствами этого хладагента [4], а также продиктован экологическими требованиями, так как диоксид углерода считается эталонной единицей при расчёте потенциала глобального потепления (Global Warming Potential, GWP = 1) и имеет нулевой потенциал разрушения озонового слоя Земли (Ozone Depletion Potential, ODP = 0). Диоксид углерода нетоксичен и не горюч. Последнее свойство особенно важно для узлов и деталей ТН при высокотемпературных процессах термодинамического цикла, проходящего в транскритической или сверхкритической областях. Именно в сверхкритическом состоянии ( $sCO_2$ ) этот хладагент обладает большей плотностью и объёмной теплоёмкостью по сравнению с другими рабочими жидкостями, то есть является более энергоёмким.

Подобные задачи для ТН на хладагенте R744, как установки для регенерации отходящего тепла технологических процессов, проектируют и решают в основном по технологиям с газотурбинными расширителями на основе термодинамических циклов Ренкина и Брайтона [5]. Различают открытый цикл, в котором нагрев рабочего вещества происходит прямо в камере сгорания, и замкнутый цикл, в котором нагрев происходит косвенно с помощью теплообменника (или нагревателя). Эти циклы имеют большое количество модификаций различной мощности и эффективности в зависимости от используемых источников тепловой энергии. Однако основные различия между ними связаны с явлением конденсации хладагента.

В цикле Ренкина термодинамический процесс проходит в двух областях: в сверхкритической и докритической. Он является транскритическим, так как содержит переход  $sCO_2$  при охлаждении в конденсаторе из сверхкритического состояния в жидкую фазу. Следующий этап цикла — сжатие жидкого хладагента — происходит с использованием насоса. Это замкнутый цикл, поскольку рабочая жид-

кость циркулирует в замкнутом контуре и нагревается косвенно с помощью внешнего источника тепла.

В цикле Брайтона термодинамический процесс протекает полностью в сверхкритической области. Превышение критической температуры делает невозможным конденсацию, и она заменяется охлаждением газообразного хладагента в сверхкритическом состоянии. Поэтому вместо конденсатора в цикле Брайтона используется газоохладитель (ГО), в котором не происходит изменения фазового состояния хладагента. На этапе сжатия газообразного  $sCO_2$  применяется компрессор. Цикл Брайтона имеет открытый, замкнутый и полужамкнутый варианты [5, 6].



∴ Фазовая диаграмма зависимости давления и температуры углекислого газа ( $CO_2$ )

Указанные различия переходят и на уровень технологических решений, таких как выбор температуры в нагревателе и рабочего давления цикла, определяемого параметрами газотурбинного расширителя и насоса (или компрессора). Поэтому данные технологии ТН на R744 могут эффективно работать в том числе и за счёт тепловой энергии выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания различной мощности, например, поршневого двигателя мини-ТЭЦ [6]. В этом случае используется замкнутый цикл Брайтона, в котором нагрев происходит косвенно с помощью теплообменника, аналогично циклу Ренкина.

Для исследования функциональных характеристик ТН, работающего на диоксиде углерода в транскритическом цикле, авторы ранее предложили использовать ПО [Aspen HYSYS](#), позволяющее моделировать рациональные структуры теплового оборудования и оптимизировать его термодинамические циклы, и [COMSOL Multiphysics](#) для детального моделирования отдельных узлов [7].

## Исследуемая модель и её результаты

В рамках поставленной задачи моделируется работа ТН на диоксиде углерода, как в транскритическом, так и в сверхкритическом цикле. На первом этапе моделирования термодинамического цикла теплонасосной установки (ТНУ) рассматривается технология на основе цикла Ренкина с использованием тепловой энергии выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания мини-ТЭЦ малой и средней мощности (температура выхлопных газов  $400\text{--}450^\circ C$ ). Структурная схема данного термодинамического цикла достаточно проработана исследователями, как за рубежом, так и у нас в стране [5, 6, 8].

Выхлопные газы, несущие сбросовое тепло технологического процесса, непосредственно омывают первичный теплообменник, размещённый на выходе потоков продуктов сгорания и выполненный, например, в виде трубчатого змеевика с потоком жидкого хладагента внутри. Тепло выхлопных газов переводит жидкий хладагент в перегретый пар, который с температурой  $T_1$  и давлением  $P_1$  поступает в расширитель в виде турбины. Турбина вращает вал генератора, который вырабатывает электроэнергию, как правило, для нужд самой мини-ТЭЦ.

Отработавший после турбины газообразный хладагент поступает в следующие узлы цикла, где продолжает отдавать тепло, в том числе встречному потоку во внутреннем теплообменнике-рекуператоре и отопительной воде в конденсаторе. После фазового превращения жидкий хладагент сжимается и, в конечном итоге, вновь направляется в первичный теплообменник к источнику тепла — выхлопным газам мини-ТЭЦ для повторения термодинамического цикла.

Начальные параметры рассматриваемого цикла:  $T_1 = 300^\circ\text{C}$ ,  $P_1 = 31$  МПа, тепловая производительность турбины  $L_{\text{тур}} = 118$  кВт, её внутренний относительный КПД равен 82%. Температурный напор на холодном конце рекуператора  $\Delta T_{\text{рек}} = 10$  К. Потери тепла в конденсаторе составляют 3 К. Гидравлические потери давления в трубопроводах и узлах цикла условно приняты нулевыми (модель 1).

При моделировании цикла ТН в ПО Aspen HYSYS заданы потоки диоксида углерода с пакетом свойств Пенга — Робинсона и воды с пакетом Уилсона, соответственно. С помощью функций «подбор» фиксировались заданные параметры хладагента в узлах структурной схемы цикла: температура после нагревателя E-101, равная  $300^\circ\text{C}$  (ADJ-1); тепловая нагрузка расширителя K-100, равная 118 кВт (ADJ-2); отсутствие паровой фазы  $\text{CO}_2$  после охладителя E-100 (ADJ-3); давление после насоса P-100, равное 31 МПа (ADJ-4). Функция «задать» SET-1 передаёт значение температурного напора из точки 5 на входе в холодную сторону теплообменника LNG-100 в точку 3 на выходе из его горячей стороны. Оптимизация расхода хладагента с помощью встроенной функции «оптимизатор» проводилась при условии максимальности внутреннего КПД цикла, при этом в расчётной схеме с помощью функции ADJ-2 варьировалась мощность расширителя.

На рис. 1 представлены функциональные характеристики ТН на  $\text{sCO}_2$  в цикле Ренкина. Пронумерованным состояниям потока хладагента на структурной схеме рис. 1а соответствуют точки термодинамического цикла диаграммы  $T-s$  на рис. 1б и диаграммы  $P-h$  на рис. 1в, которые построены в программе Mathcad по методике [8]. Массовый расход хладагента задан в точке 1 и остаётся постоянным на всем протяжении цикла.

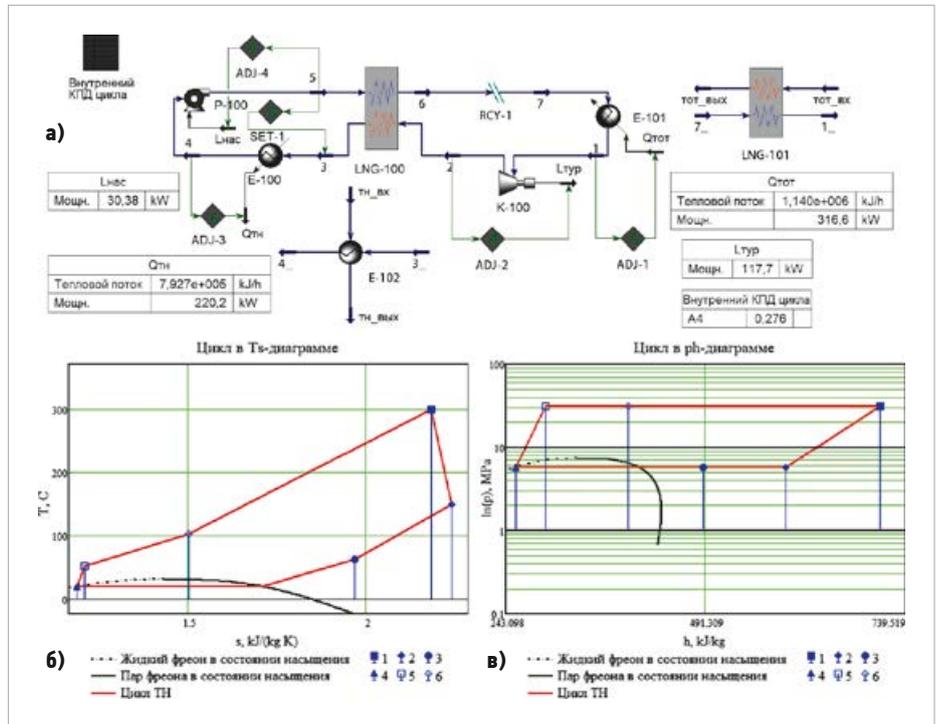


Рис. 1. Функциональные характеристики термодинамического цикла Ренкина теплового насоса на основе сверхкритического диоксида углерода  $\text{sCO}_2$  (модель 1) [а — структурная схема; б — диаграмма  $T-s$ -цикла; в — диаграмма  $P-h$ -цикла (в логарифмическом масштабе)]

Из начальной точки 1 ( $T_1 = 300^\circ\text{C}$ ,  $P_1 = 31$  МПа) на выходе из первичного теплообменника-нагревателя E-101  $\text{sCO}_2$  в паровой фазе с высокой энергией поступает на расширение в турбину K-100 и приводит в действие генератор: 1–2 — адиабатное расширение паров в турбине ( $T_2 = 147,7^\circ\text{C}$ ,  $P_2 = 5,73$  МПа). Затем расширенный  $\text{sCO}_2$  охлаждается в рекуперативном теплообменнике LNG-100, где отдаёт тепло встречному потоку хладагента: 2–3 — изобарическое охлаждение ( $T_3 = 61,72^\circ\text{C}$ ,  $P_3 = 5,73$  МПа). Далее в охладителе E-100 хладагент передаёт теплоту теплоносителю (отопительной воде) и конденсируется в жидкость: 3–4 — изобарическое охлаждение  $\text{sCO}_2$  с транскритическим переходом (рис. 1б и 1в) и конденсацией на линии насыщения в точке 4

( $T_4 = 20,01^\circ\text{C}$ ,  $P_4 = 5,73$  МПа). Вслед за этим с помощью насоса P-100 повышается давление и температура хладагента с переходом в состояние сверхкритической жидкости (рис. 1б и 1в): 4–5 — адиабатное сжатие жидкого  $\text{sCO}_2$  ( $T_5 = 51,72^\circ\text{C}$ ,  $P_5 = 31$  МПа). Затем жидкий  $\text{sCO}_2$  закачивается насосом в теплообменник-рекуператор LNG-100, где дополнительно нагревается: 5–6 — изобарический нагрев  $\text{sCO}_2$  без изменения агрегатного состояния ( $T_6 = 100,2^\circ\text{C}$ ,  $P_6 = 31$  МПа). Параметры потока хладагента из точки 6 на выходе из внутреннего теплообменника передаются в цикле в точку 7 на входе в первичный теплообменник. Тепло выхлопных газов нагревает  $\text{sCO}_2$  до состояния сверхкритического пара: 7–1 — изобарический нагрев жидкого  $\text{sCO}_2$  с условным изменением агрегатного состояния (рис. 1б и 1в). Затем цикл повторяется. Полученные параметры потока хладагента в характерных точках цикла занесены в табл. 1.

На рис. 1а также отдельно показаны конденсатор как теплообменник E-102 с входным и выходным потоками хладагента  $\text{sCO}_2$  и теплоносителя (отопительной воды) и первичный теплообменник LNG-101 с входным и выходным потоками хладагента и теплоотдатчика (выхлопных газов), соответственно. При массовом расходе отопительной воды 4600 кг/ч она нагревается от входной температуры  $20^\circ\text{C}$  до выходной температуры  $60,85^\circ\text{C}$ . Массовый расход теплоотдатчика составляет 2200 кг/ч при величине входной температуры  $400^\circ\text{C}$ .



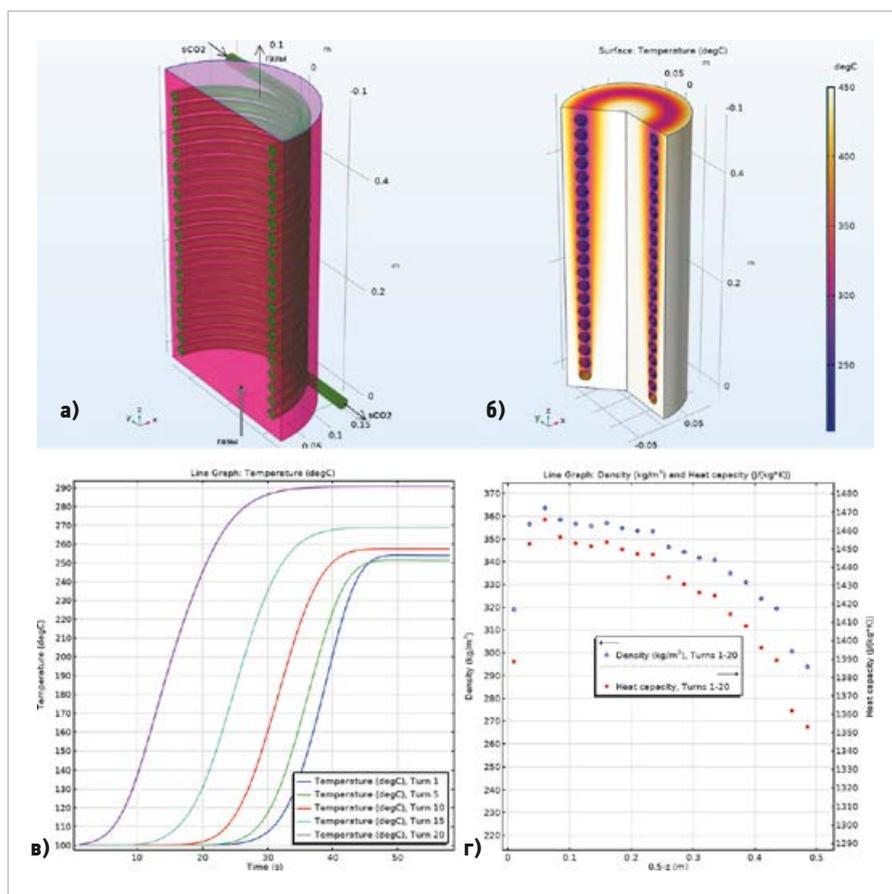


Рис. 2. Геометрия и функциональные характеристики трубчатого змеевикового теплообменника [а — корпус и змеевик с входными и выходными отверстиями (сечение плоскостью  $yOz$ ); б — стационарное распределение температур хладагента и выхлопных газов в объёме теплообменника; в — изменение средней температуры хладагента в отдельных витках (55 с); г — распределение средних значений плотности и массовой теплоёмкости  $sCO_2$  по всем виткам]

Оптимизация цикла при массовом расходе хладагента  $\dot{m} = 3600$  кг/ч даёт мощность турбины  $L_{тур} = 117,7$  кВт, мощность насоса  $L_{нас} = 30,38$  кВт и мощность теплового потока в первичном теплообменнике  $Q_{tot} = 316,6$  кВт. При этом значение внутреннего КПД цикла составит:

$$\eta_1 = \frac{L_{тур} - L_{нас}}{Q_{tot}} = 0,276.$$

Из табл. 1 видно, что изменения параметров потока  $CO_2$  при переходах между характерными точками цикла соответствуют процессам, описанным выше. Например, кратный рост плотности и теплоёмкости в точке 4 по сравнению с точкой 3 показывает переход  $sCO_2$  из сверхкритического состояния в жидкость, а существенно менее резкое уменьшение этих параметров между точками 6 и 1 —

условный переход  $sCO_2$  от сверхкритической жидкости к сверхкритическому пару.

Однако нагрев  $sCO_2$  происходит без затрат энергии на скрытую теплоту фазового перехода, и внутренняя энергия хладагента в сверхкритической области не изменяется скачком. Поэтому изменение характеристик  $sCO_2$  между значениями на входе и на выходе из первичного теплообменника должно происходить равномерно. Это, в свою очередь, гарантирует стабильную работу турбины, генератора и ТНУ в целом. Подтвердить эффективность работы первичного теплообменника можно моделированием протекающих в нём физических процессов. Но расчёт теплообменников в [Aspen HYSYS](#) проводится методом логарифмической средней разности температур по алгебраическим формулам [7], что не даёт

Параметры потока хладагента в характерных точках цикла (модель 1)

табл. 1

Параметры	1	2	3	4	5	6
Температура, °С	300	147,7	61,72	20,01	51,72	100,2
Давление, кПа	31 000	5730	5730	5730	31 000	31 000
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	288,5	79,3	118,5	758,0	878,7	654,1
Массовая энтальпия, кДж/кг	-8749	-8866	-8968	-9178	-9167	-9065
Массовая энтропия, кДж/(кг·К)	3,357	3,416	3,145	2,408	2,375	2,666
Массовая теплоёмкость, кДж/(кг·К)	1,332	1,113	1,332	5,789	2,078	2,050

детальной картины процесса теплообмена, поэтому проведено моделирование и исследование данного узла на основе дифференциальных уравнений в частных производных в ПО [COMSOL Multiphysics](#).

Результаты моделирования представлены на рис. 2. Геометрия теплообменника в виде трубчатого змеевика, размещённого в выхлопной трубе двигателя внутреннего сгорания, показана на рис. 2а сечением корпуса теплообменника плоскостью  $yOz$ . Длина цилиндрической части корпуса — 0,5 м, диаметр — 0,3 м, внутренний и внешний диаметры трубки змеевика — 20 и 25 мм. Трубка изогнута в виде спирали и размещается внутри цилиндрического воздушного канала соосно ему. Количество витков — 20. Видно, что геометрия теплообменника почти осесимметрична. По каналу снизу вверх проходят горячие выхлопные газы, а хладагент  $sCO_2$  прокачивается через змеевик в противоположном направлении. Материал корпуса — конструкционная сталь, трубки — медь.

### Равномерное изменение характеристик $sCO_2$ между значениями на входе и на выходе из первичного теплообменника гарантирует стабильную работу турбины, генератора и ТНУ в целом

Заданные размеры элементов теплообменника и найденные ранее массовый расход хладагента 3600 кг/ч и теплоносителя 2200 кг/ч соответствуют турбулентным потокам в корпусе и трубках. Температура  $sCO_2$  на входе 100,2 °С, выхлопных газов на входе — 400 °С. Стационарное уравнение теплообмена решалось с помощью интерфейсов *Turbulent Flow*, *k-ε* и *Heat Transfer in Fluids*. Однако модель можно упростить, предположив, что и геометрия, и поток газов полностью осесимметричны, и использовать интерфейс *2D axisymmetric* с отдельными граничными условиями конвективного теплового потока на внутренних границах каждого витка змеевика [9].

На рис. 2б приведено распределение температур выхлопных газов и хладагента в области теплопередачи, соответствующее стационарному решению, то есть установившимся потокам. Видно, что температура  $sCO_2$  увеличивается по мере прохождения потока хладагента по змеевику: от 253 °С в верхнем, первом витке теплообменника до 292 °С в нижнем, 20-м витке. Таким образом, расчёт температур в [Aspen HYSYS](#) подтверждается с приемлемой степенью точности.



Однако для анализа эффективности теплообменника важно получить более детальное представление о характере изменения температуры хладагента в каждом витке змеевика в зависимости от времени. С этой целью моделировалось начало процесса теплообмена в змеевике на этапе пуска ТН после получения устойчивых параметров хладагента на входе в теплообменник. Время работы до стабильного режима составило около 45 с.

На рис. 2в дано изменение средней температуры  $s\text{CO}_2$  в первом (синяя линия), 5-м (зелёная линия), 10-м (красная линия), 15-м (голубая линия) и 20-м (фиолетовая линия) витках в течение 55 с.

Видно, что температура хладагента в каждом витке увеличивается равномерно: от начальной для всех витков  $100,2^\circ\text{C}$  до найденной на этапе стационарного решения для каждого витка. Конечная температура растёт с номером витка, но первый виток выделяется скачком температуры по сравнению с несколькими следующими (не показаны на рис. 2в). Это может объясняться его положением на выходе из воздушного канала и особыми условиями конвекции.

На рис. 2г показано распределение средних значений плотности и массовой теплоёмкости  $s\text{CO}_2$  по всем виткам для стационарного решения. Видно, что эти величины, связанные обратной зависимостью с ростом температуры, уменьшаются при проходе змеевика, кроме нескольких первых витков. Провал плотности ( $318 \text{ кг/м}^3$ ) и теплоёмкости [ $1387 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ] на первом витке вызван отмеченным на рис. 2в скачком температуры. На нескольких следующих витках графики выравниваются. В целом изменение параметров  $s\text{CO}_2$  по виткам происходит достаточно равномерно с незначительными колебаниями. Конечные значения плот-

ности и массовой теплоёмкости  $s\text{CO}_2$  на 20-м витке [ $294 \text{ кг/м}^3$  и  $1353 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ , соответственно] близки к ранее найденным (табл. 1).

Таким образом, результаты моделирования теплообменника в [COMSOL Multiphysics](#) близки к ожидаемым, теплообмен проходит достаточно эффективно, что позволяет прогнозировать стабильную работу ТНУ в целом.

### Второй этап моделирования термодинамического цикла ТНУ основывается на технологии замкнутого цикла Брайтона, также с использованием тепловой энергии выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания, но для мини-ТЭЦ средней и большой мощности

Второй этап моделирования термодинамического цикла ТНУ основывается на технологии замкнутого цикла Брайтона, также с использованием тепловой энергии выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания, но для мини-ТЭЦ средней и большой мощности (температура выхлопных газов  $600\text{--}700^\circ\text{C}$  и выше). Варианты структурных схем на основе термодинамического цикла Брайтона широко представлены в зарубежных исследованиях [5, 6, 10]. В то же время, как показал анализ этих исследований, термодинамические циклы на  $s\text{CO}_2$  особенно чувствительны к условиям охлаждения в энергетических системах и иногда могут вызывать непрогнозируемые результаты. Это приводит к конструктивной вариации ряда узлов структурой схемы с целью повышения эффективности функционирования термодинамического цикла [11].

Принципиальные различия циклов Ренкина и Брайтона были отмечены выше. В первом случае давление конденсации определяется из условия насыщения. Но в цикле Брайтона конденсации  $s\text{CO}_2$  не происходит, и давление хладагента на выходе из ГО не определяется по температуре однозначно. В то же время анализ изменения характеристик  $s\text{CO}_2$  при охлаждении позволяет определить так называемую «псевдокритическую» температуру. Она связана с резкими изменениями плотности и теплоёмкости в изобарном процессе вблизи критической точки.

Температура  $T_{pc}$ , при которой удельная теплоёмкость становится максимальной для данного давления, называется «псевдокритической» (pseudo-critical).

Высокая плотность хладагента на входе в компрессор снижает энергопотребление и улучшает общие тепловые характеристики цикла так же, как и высокая теплоёмкость. При охлаждении  $s\text{CO}_2$  начальное изменение производительности невелико, но, когда температура достигает  $T_{pc}$ , производительность резко возрастает. Когда же рабочее давление приближается к критическому  $P_c$ , пик роста удельной теплоёмкости становится острее, что значительно увеличивает коэффициент теплообмена. Быстрые и нелинейные изменения удельной теплоёмкости  $s\text{CO}_2$ , в зависимости от температуры и давления, можно оптимизировать, связав  $T_{pc}$  с рабочим давлением по формуле [4, 11]:

$$T_{pc} = 122,6 - 6,124p - 0,1657p^2 + 0,01773p^{2,5} - 0,0005608p^3, \quad (1)$$

где температура выражена в  $[\text{C}]$ , давление в барах, и которая справедлива при условии  $75 \leq p \leq 140$ .

Начальные параметры цикла: после первичного теплообменника  $T_1 = 500^\circ\text{C}$ ,  $P_1 = 23 \text{ МПа}$ , давление после турбины  $P_2 = 8 \text{ МПа}$ , температура после ГО, найденная по формуле (1),  $T_4 = 34,63^\circ\text{C}$ , температурный напор на холодном конце рекуператора  $\Delta T_{рек} = 100 \text{ К}$ . Потери тепла в ГО составляют 3 К. Гидравлические потери давления в трубопроводах и узлах цикла условно приняты нулевыми (модель 2).

Моделирование цикла Брайтона теплового насоса в ПО [Aspen HYSYS](#) выполнялось аналогично моделированию цикла Ренкина. Различия связаны с параметрами цикла: функция «подбор» ADJ-1 задаёт температуру после нагревателя E-101 ( $500^\circ\text{C}$ ); ADJ-2 — давление после расширителя K-100 (8 МПа); ADJ-3 — температуру после охладителя E-100 ( $34,63^\circ\text{C}$ ); ADJ-4 — давление после компрессора K-101 (23 МПа). Функция «задать» SET-1 передаёт значение температурного напора из точки 5 в точку 3.

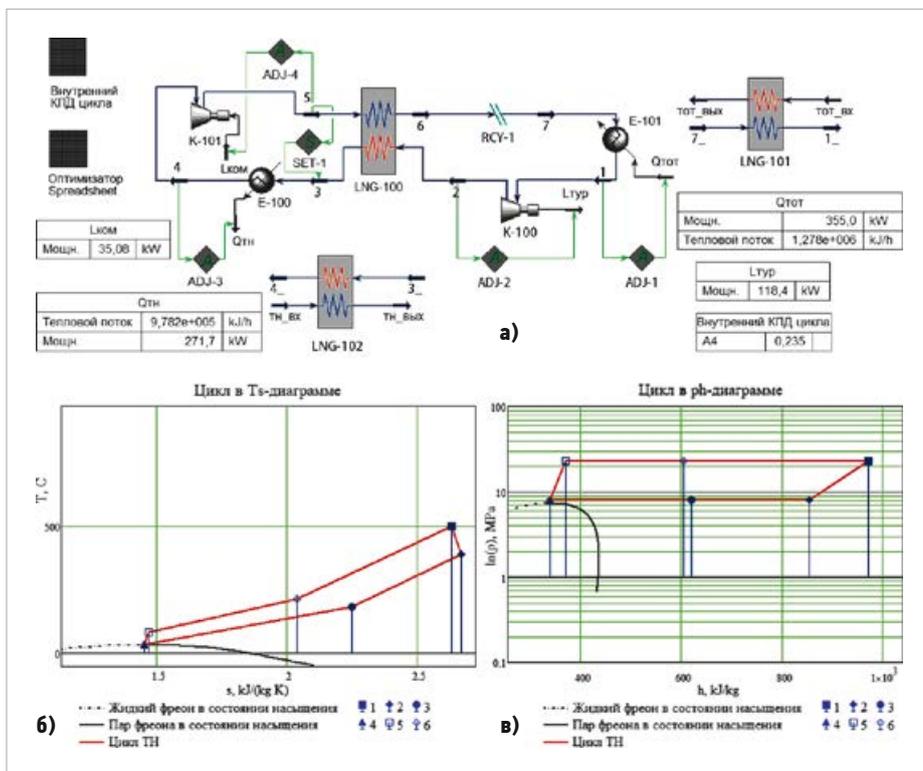


Рис. 3. Функциональные характеристики термодинамического цикла Брайтона ТН на sCO<sub>2</sub> (модель 2) [а — структурная схема; б — диаграмма T-s-цикла; в — диаграмма P-h-цикла (в логарифмическом масштабе)]

Оптимизация цикла с целью максимума внутреннего КПД проводилась при условии равенства расхода хладагента и мощности турбины значениям из модели 1:  $\dot{m} = 3600$  кг/ч,  $L_{тур} = 118$  кВт, при этом в расчётной схеме с помощью функции ADJ-2 варьировалось давление после расширителя.

На рис. 3 представлены функциональные характеристики ТН на sCO<sub>2</sub> в цикле Брайтона. Пронумерованным точкам на структурной схеме рис. 3а соответствуют точки термодинамического цикла на диаграммах T-s (рис. 3б) и P-h (рис. 3в), построенных по методике [8].

Из начальной точки 1 ( $T_1 = 500$  °С,  $P_1 = 23$  МПа) на выходе из первичного теплообменника-нагревателя E-101 sCO<sub>2</sub> поступает в турбину K-100: 1-2 — адиабатное расширение в турбине ( $T_2 = 387,3$  °С,  $P_2 = 8$  МПа). Затем расширенный sCO<sub>2</sub> отдаёт тепло встречному потоку хладагента в рекуперативном теплообменнике LNG-100: 2-3 — изобарическое охлаждение ( $T_3 = 189$  °С,  $P_3 = 8$  МПа). Далее хладагент передаёт теплоту отопитель-

ной воде в охладителе E-100: 3-4 — изобарическое охлаждение sCO<sub>2</sub> до псевдокритической температуры без транскритического перехода (рис. 3б и 3в) вблизи линии насыщения в точке 4 ( $T_4 = 34,63$  °С,  $P_4 = 8$  МПа). Затем давление и температура сверхкритической жидкости повышаются в компрессоре K-101 (рис. 3б и 3в): 4-5 — адиабатное сжатие ( $T_5 = 88,9$  °С,  $P_5 = 23$  МПа). Затем sCO<sub>2</sub> дополнительно нагревается в теплообменнике-рекуператоре LNG-100: 5-6 — изобарический нагрев ( $T_6 = 220$  °С,  $P_6 = 23$  МПа). Параметры потока хладагента из точки 6 передаются в цикле в точку 7. Далее sCO<sub>2</sub> нагревается в первичном теплообменнике E-101: 7-1 — изобарический нагрев (рис. 1б и 1в). Затем цикл повторяется. Полученные параметры потока хладагента в характерных точках цикла занесены в табл. 2.

На рис. 3а также отдельно показаны конденсатор как теплообменник E-102 с входным и выходным потоками хладагента sCO<sub>2</sub> и теплоносителя (отопительной воды) и первичный теплообменник LNG-101 с входным и выходным потоками

хладагента и теплоотдатчика (выхлопных газов), соответственно. Массовые расходы отопительной воды и выхлопных газов одинаковы с моделью 1 (4600 и 2200 кг/ч, соответственно). При этом вода нагревается от входной температуры 20 °С до выходной температуры 70,43 °С.

Оптимизация цикла при массовом расходе хладагента  $\dot{m} = 3600$  кг/ч даёт мощность турбины  $L_{тур} = 118,4$  кВт, мощность компрессора  $L_{КОМ} = 35,08$  кВт и мощность теплового потока в первичном теплообменнике  $Q_{Тот} = 355$  кВт. При этом значение внутреннего КПД цикла:

$$\eta_2 = \frac{L_{тур} - L_{нас}}{Q_{Тот}} = 0,235.$$

Известно, что, хотя эффективность обоих циклов, зависящая от мощности турбины, увеличивается с ростом температуры выхлопных газов, каждый цикл имеет диапазон температуры на входе турбины, в котором его эффективность выше. Так, цикл Брайтона более эффективен при температуре на входе турбины от 450 °С и выше [12]. Однако сравнение результатов моделирования даёт  $\eta_2 < \eta_1$ , что объясняется ограничением на мощность турбины  $L_{тур} = 118$  кВт, принятой в модели 2. В то же время высокая температура хладагента после турбины позволяет нагревать отопительную воду до температуры на 10 °С выше, чем в модели 1. То есть, гибко меняя параметры цикла, можно настраивать ТНУ на желаемый результат.

**Хотя эффективность обоих циклов, зависящая от мощности турбины, увеличивается с ростом температуры выхлопных газов, каждый цикл имеет диапазон температуры на входе турбины, в котором его эффективность выше**

Из табл. 2 видно, что между точками 3 и 4 плотность и теплоёмкость sCO<sub>2</sub> многократно возрастают, что объясняется достижением псевдокритической температуры при охлаждении. Этот процесс увеличивает теплообмен в газоохладителе и эффективность цикла в целом. Однако характер изменения характеристик sCO<sub>2</sub> между значениями на входе и на выходе из ГО зависит от его конструкции и режима работы. Подтвердить эффективность работы ГО можно моделированием протекающих в нём физических процессов. С этой целью проведено моделирование и исследование данного узла в ПО COMSOL Multiphysics.

Таблица 2: Параметры потока хладагента в характерных точках цикла (модель 2)

Параметры	1	2	3	4	5	6
Температура, °С	500	387,3	189,0	34,63	88,90	220,0
Давление, кПа	23000	8000	8000	8000	23000	23000
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	151,0	64,21	99,59	428,7	576,4	273,4
Массовая энтальпия, кДж/кг	-8487	-8605	-8831	-9102	-9067	-8842
Массовая энтропия, кДж/(кг·К)	3,808	3,845	3,439	2,680	2,697	3,236
Массовая теплоёмкость, кДж/(кг·К)	1,242	1,149	1,150	22,79	2,326	1,381

Рассматривается U-образный теплообменник типа «труба в трубе», состоящий из нескольких параллельных трубок, собранных в пакет и помещённых внутри U-образной внешней трубки. Хладагент sCO<sub>2</sub> движется по внутренним трубкам, а отопительная вода — в противоположном направлении по кольцевому зазору между ними и внешней трубкой. При расчёте такой конструкции ГО используется модель теплообменника «труба в трубе» равного объёма с эквивалентным диаметром  $d_{\text{ЭКВ}} = d\sqrt{N}$ , где  $d$  — диаметр трубки,  $N$  — число трубок в пакете [7].

Результаты моделирования ГО представлены на рис. 4. Геометрия, показанная на рис. 4а, ранее была построена в [7]. Длина внешней трубки — 2 м, длины прямых частей — 0,824 м, радиус кривизны изогнутого участка — 0,112 м, внутренний и внешний эквивалентный диаметры внутренней трубки — 16,5 и 21,8 мм. Указаны вход и выход sCO<sub>2</sub> — на торцах внутренней трубки, а также вход и выход отопительной воды — кольцевые зазоры между торцами трубок. Материал трубок — медь.

Параметры массового расхода и входной температуры хладагента и отопительной воды соответствуют модели 2. Их течение предполагается турбулентным. В интерфейсах Turbulent Flow,  $k$ - $\epsilon$  и Heat

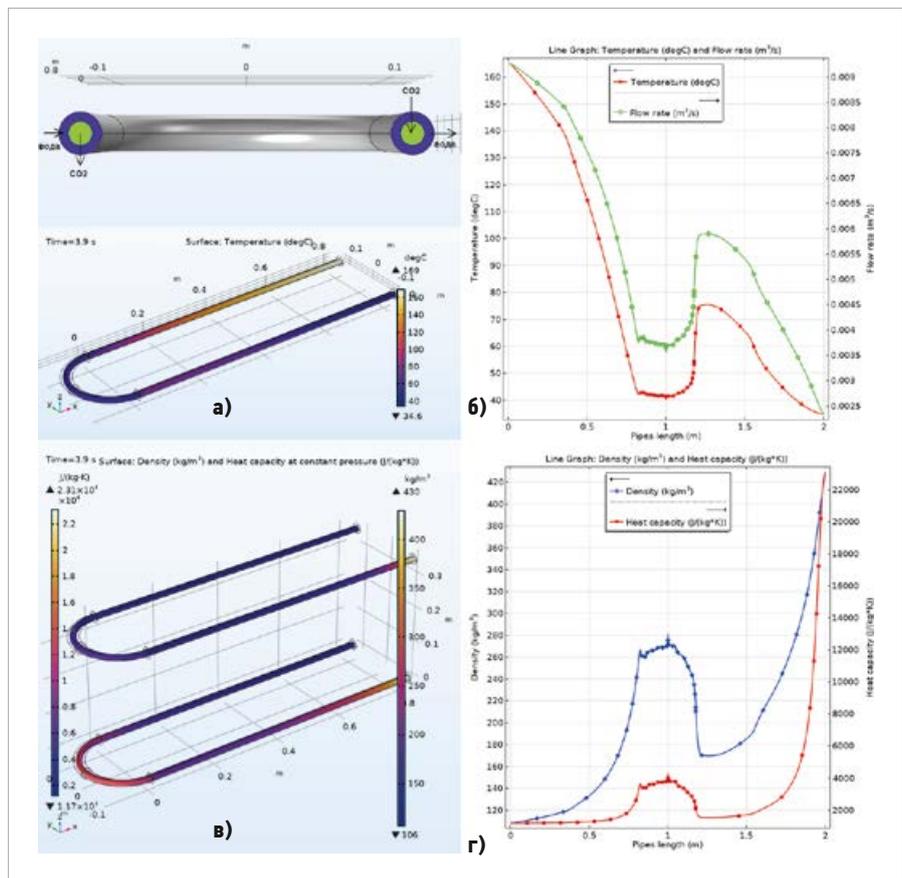


Рис. 4. Геометрия и функциональные характеристики U-образного трубчатого теплообменника [а — корпус с входными и выходными отверстиями и распределение температуры sCO<sub>2</sub> в объёме внутренней трубы (3,9 с); б — распределение средней температуры и объёмного расхода хладагента по длине трубы; в — распределение плотности и массовой теплоёмкости хладагента в объёме внутренней трубы (3,9 с); г — то же для их средних значений по длине трубы]



Transfer in Fluids решались уравнения теплообмена во временной области. Моделировалось начало процесса теплообмена в ГО на этапе пуска ТН после получения устойчивых параметров хладагента на выходе из компрессора. Время работы ГО до достижения температуры  $T_{\text{pc}}$  составило 3,9 с. На рис. 4а также показано распределение температуры хладагента в объёме внутренней трубы в момент времени 3,9 с. Видно, что остывание sCO<sub>2</sub> от входа во внутреннюю трубу с температурой 189°C происходит равномерно лишь на первом

прямом участке (до температуры около 45°C), в то время как до середины дугового участка трубы температура почти постоянна, а к началу второго прямого отрезка возрастает почти до 75°C и лишь затем резко убывает до 34,63°C на выходе.

Аналогичные особенности имеет распределение средней температуры sCO<sub>2</sub> по длине трубы  $l$ , которое показано вместе с величиной объёмного расхода хладагента на рис. 4б. Хорошо заметна корреляция этих параметров на всех участках трубы: быстрое убывание на первом пря-

мом отрезке, колебания на дуге от медленного уменьшения с минимумом при  $l = 1$  м (45°C и 0,0026 м<sup>3</sup>/с, соответственно) до скачка величин с максимумом при  $l = 1,3$  м (75°C и 0,0057 м<sup>3</sup>/с, соответственно) и последующее убывание на втором прямом отрезке. При постоянных массовом расходе и давлении хладагента на входе в ГО эти колебания вызваны изменением плотности и массовой теплоёмкости в объёме ГО.

На рис. 4в дано распределение плотности и массовой теплоёмкости sCO<sub>2</sub> в объёме внутренней трубы в момент времени 3,9 с. Видно, что их величины равномерно возрастают лишь на первом прямом участке: [до 265 кг/м<sup>3</sup> и 3600 Дж/(кг·К), соответственно], а на дуге имеют максимум при  $l = 1$  м [выше 250 кг/м<sup>3</sup> и 4000 Дж/(кг·К), соответственно] с последующим падением до минимума при  $l = 1,3$  м [около 170 кг/м<sup>3</sup> и 1800 Дж/(кг·К), соответственно]. Рост на втором прямом участке даёт значения на выходе около 430 кг/м<sup>3</sup> и 2200 Дж/(кг·К), соответственно. В целом распределение этих параметров соответствует распределению температуры (рис. 4а). Тем самым подтверждается значительная неравномерность изменения параметров sCO<sub>2</sub> при прохождении дугового участка трубы.

На рис. 4г показано распределение средней плотности и массовой теплоёмкости  $s\text{CO}_2$  по длине трубы. Видны все особенности, отмеченные выше, причём в середине дугового участка трубы ( $l = 1$  м) эти величины имеют острый пик [280 кг/м<sup>3</sup> и 4500 Дж/(кг·К), соответственно]. Значения на выходе из трубы [425 кг/м<sup>3</sup> и 2250 Дж/(кг·К)] близки к указанным в табл. 2.

Таким образом, эффективность теплообмена в U-образном газоохладителе при температурах, близких к псевдокритической, существенно зависит от формы трубок и режима течения  $s\text{CO}_2$ . Нахождение оптимальных условий потребует дополнительных исследований.

## Заключение

1. Анализ использования в современных условиях развития экономики страны мини-ТЭЦ для снабжения электрической и тепловой энергией ряда хозяйственных объектов показал, что возможно получение значительного эффекта в следующих направлениях производственной деятельности: утилизация отходов деревопереработки, сельского хозяйства и ТБО; утилизация сбросовой тепловой энергии технологических процессов; ускоренный ввод энергетических мощностей для реализации новых бизнес-проектов, в том числе в развивающейся сфере быта, а также стабилизации функционирования предприятий жилищно-коммунального хозяйства.

2. Косвенным, но весьма значимым результатом более широкого применения мини-ТЭЦ можно считать обеспечение высокой надёжности использования электроэнергии населением, например, путём замены газовых бытовых плит на электрические (в некоторых, особых случаях), тем самым исключаются угрозы из-за неправильной эксплуатации газовой оборудования, несоблюдения регламентных работ по обслуживанию и ремонту его газовой службой и других случайных явлений, связанных с газовым оборудованием в быту.



3. Представлены методики моделирования термодинамических циклов в ПО [Aspen HYSYS](#) для тепловых насосов, работающих от выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания мини-ТЭЦ на хладагенте R744 ( $\text{CO}_2$ ) на основе цикла Ренкина в транскритической области и цикла Брайтона в сверхкритической области. Это позволяет потребителю осуществлять надёжный выбор мини-ТЭЦ необходимой мощности с учётом особенностей функциональных характеристик термодинамического цикла.

4. Проведено моделирование и исследование принципиальной структурной схемы первичного теплообменника в ПО [COMSOL Multiphysics](#) в виде трубчатого змеевика, устанавливаемого в глушитель

выхлопной трубы двигателя внутреннего сгорания мини-ТЭЦ. Показано, что теплообмен с потоками выхлопных газов с температурой 400–450 °С позволяет нагревать хладагент R744 до температуры до 300 °С, необходимой для обеспечения работоспособности смоделированной ТНУ по технологии цикла Ренкина.

5. Методика моделирования структурной схемы ТНУ по технологии цикла Брайтона отличается в узлах газоохладителя и компрессора, но остаётся практически без изменений для первичного теплообменника, за исключением увеличения числа витков трубчатого змеевика (примерно на 5–10%) и дополнительного исследования на работоспособность функционирования.

6. Моделирование и исследование в ПО [COMSOL Multiphysics](#) газоохладителя в виде U-образного теплообменника типа «труба в трубе» показало, что оптимизация функциональных характеристик ТНУ на основе цикла Брайтона может быть связана с дополнительными исследованиями распределения плотности и удельной теплоёмкости  $s\text{CO}_2$  в объёме теплообменника при температурах, близких к псевдокритической. ●

## Методика моделирования структурной схемы ТНУ по технологии цикла Брайтона отличается в узлах газоохладителя и компрессора, но остаётся практически без изменений для первичного теплообменника, за исключением увеличения числа витков трубчатого змеевика

1. Морева Ю.А., Суровцов М.М., Панова Е.А. Развитие распределённой генерации в мире и в России // Журнал СОК. 2020. №5. С. 42–53.
2. Газовые электростанции: автономный источник энергии в большом диапазоне мощности [Электр. текст]. Режим доступа: rmnt.ru. Дата обрац.: 10.05.2023.
3. Мини-ТЭЦ на природном газе [Электр. текст]. ЗАО «Автономный ЭнергоСервис». Режим доступа: esist.ru. Дата обрац.: 10.05.2023.
4. Kim M.H., Pettersen J., Bullard C.W. Fundamental process and system design issues in  $\text{CO}_2$  vapor compression systems. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2004. Vol. 30. Issue 2. Pp. 119–174.
5. Zhu Q. Innovative power generation systems using  $s\text{CO}_2$  cycles. *Clean Energy*. 2017. Vol. 1. No. 1. Pp. 68–79.
6. Rogalev N., Rogalev A., Kindra V., Zlyvko O., Bryzgunov P. Review of closed  $s\text{CO}_2$  and semi-closed oxy-fuel combustion power cycles for multi-scale power generation in terms of energy, ecology and economic efficiency. *Energies*. 2022. Vol. 15. Issue 23.
7. Сучилин В.А., Кочетков А.С., Губанов Н.Н. Моделирование и исследование в ПО [Aspen HYSYS](#) и [COMSOL Multiphysics](#) функциональных характеристик теплового насоса для объектов социальной инфраструктуры // Журнал СОК. 2023. №4. С. 60–67.
8. Очков В.Ф. Цикл турбинной установки на сверхкритическом  $\text{CO}_2$  [Электр. текст]. Расчётный сервер НИУ «МЭИ». Режим доступа: twt.mpei.ac.ru. Дата обрац.: 10.05.2023.
9. Frei W. Modeling a coil heat exchanger. Web-source: comsol.com. Access date: May 10, 2023.
10. Ahn Y., Bae S.J., Kim M., Cho S.K., Baik S., Lee J.I., Cha J.E. Review of supercritical  $s\text{CO}_2$  power cycles technology and current status of research and development. *Nuclear Engineering and Technology*. 2015. Vol. 47. Pp. 647–661.
11. Wu D., Wei M., Tian R., Zheng S., He J. A review of flow and heat transfer characteristics of supercritical carbon dioxide under cooling conditions in energy and power systems. *Energies*. 2022. Vol. 15. Issue 23.
12. Quadrennial Technology Review 2015. Ch. 4: Advancing Clean Electric Power Technologies 4R. Supercritical carbon dioxide Brayton cycle. US Department of Energy. Web-source: energy.gov. Access date: May 10, 2023.

References — see page 78.

## Правильный холод в эпоху перемен

Российский рынок холодильного оборудования претерпевает серьёзные трансформации. На предложение и спрос влияют политические изменения, связанные с ними экономические неурядицы, а также критерии выбора холодильного оборудования. В предлагаемой статье мы постараемся дать определённые стратегические соображения и тактические ориентиры, которые помогут заказчику и проектировщику принять оптимальные решения по критериям «цена», «качество», «экономичность», «надёжность» и «сервис».

Автор: Александр ГУДКО,  
главный редактор [журнала СОК](#)

### Краткий анализ рынка

Отечественный рынок холодильного оборудования активно меняется. Азиатские и китайские производители рады предложить свои решения. С одной стороны это возможность для заказчика инженерных систем попробовать что-то новое, с другой — трудность. Дело в том, что, помимо достойных решений, способных стать реальной заменой ушедшим с рынка, встречаются и воистину «фантастические». В плохом смысле этого слова: они имеют декларируемые параметры, противоречащие законам физики, термодинамики, да и здравому смыслу. То есть некоторые из доступных образцов оборудования имеют характеристики, которые никогда бы не смог получить даже самый сильный производитель, имеющий за плечами многолетний опыт выпуска холодильной техники и внушительную базу НИОКР.

В ситуации обновления ассортимента техники даже не всякий квалифицированный специалист, принимающий решение, может быть «на все сто» уверен, что его отношения с выбранным оборудованием будут «долгими и счастливыми». Прекрасные показатели энергопотребления, производительности и шума в совокупности с приятной ценой могут стать мазками очень привлекательного портрета оборудования, предлагаемого неизвестным поставщиком. Но «товар лицом» — это не всегда то же самое, что «товар нутром». Понимая это, профессионалы испытывают значительный дискомфорт, пытаясь определить, в какую сторону им сворачивать с привычных, наезженных путей — где искать надёжное оборудование для оснащения своих объектов: опыта применения новой техники в России пока недостаточно.

Эта проблема сегодня касается многих: и компаний, решивших провести модернизацию своих инженерных систем, и тех, кто строит новые объекты: девелоперов в коммерческом сегменте, промышленных инвесторов и т.д. Ярким примером является активность в фармацевтической промышленности — проектирование новых производственных площадок здесь поставлено чуть ли не «на поток». Рост конкуренции, перестройка рынка, а значит обязательное развитие — неумолимый тренд нашего времени, и ошибиться на этом пути — «удовольствие» нежелательное.

Ныне в среде заказчиков инженерного оборудования бытует двоякое отношение к происходящему. Одни специалисты активно осваивают новое, смело выбирая иностранное оборудование, активно поставляемое в Россию из «дружественных стран». Другие, напротив, с большим по-

**Сейчас даже профессионалы испытывают значительный дискомфорт, пытаясь определить, в какую сторону им сворачивать с привычных путей — где искать надёжное оборудование для оснащения своих объектов**

дозрением и опаской смотрят на потенциальных партнёров: «обжэгшись на молоке, дуют на воду». По мнению последних, кидаться из объятий европейских в азиатские — не особо умно: кто даст гарантию, что в будущем этих «друзей» тоже не сдует ветрами каких-нибудь новых политических перемен? Логика тут, конечно, есть, и можно было бы взять этот принцип на вооружение, как минимизировав свои риски, так и помогая стране в импортозамещении, выбирая отечественного производителя. Если бы не одно «но».

Среди российских производителей, конечно же, есть серьёзные компании, заслуживающие уважения и доверия, которые выпускают действительно качественное оборудование. Однако они «закрывают» только сегмент холодильных машин невысокой (в основном до 600 кВт) производительности. И это сборочное производство из импортных комплектующих. «Тяжёлых» решений отечественный рынок не предлагает, и, по мнению экспертов, в обозримом будущем не предложит. Хотя бы потому, что это нецелесообразно.

Для того чтобы глубже понять ситуацию, давайте рассмотрим сегмент небольших холодильных машин — в частности, спиральный чиллер производительностью 150 кВт. В России сегодня достаточно отечественных предприятий, разработавших линейку таких чиллеров и собирающих их. Но ключевые комплектующие, например, компрессоры, — всё равно импортные (в соответствии с текущей ситуацией используются китайские устройства).

Потому что наладить производство компрессоров в России — практически не окупаемый проект. Представим мировой рынок, потребности которого удовлетворяют производители, количество которых можно пересчитать по пальцам одной руки. Сразу же возникает вопрос: «Сколько же будет стоить компрессор, адресованный только российским потребителям, и как быстро окупятся инвестиции в такие НИОКР и производство?» Рассчитать сложно. Если говорить о сложных решениях, таких как винтовые и центробежные компрессоры, то вообще вряд ли можно смоделировать рыночную ситуацию, при которой было бы целесообразно налаживать производство в РФ.



❖ Генеральный директор [TermoIndustry](#) Денис Белоусов на заводе [Dunham-Bush](#)

Тут сразу возникает мысль о варианте локализации иностранных производств, однако иностранные вендоры этого делать не спешат. Как бы то ни было — работать надо в имеющихся реалиях. И дальше мы с вами как раз поговорим о том, как сделать хороший проект с надёжным оборудованием.

### О проектной команде

Правильный подход к включению техники в проекты и вообще вдумчивое проектирование — очень важный вопрос. Зачастую проектировщик получает техническое задание на создание системы холодоснабжения от заказчика, который не видит все возможные варианты решения этой задачи, но считает, что «техническая правда» на его стороне. Причины такой ситуации могут быть разные. Например, стремление контролировать «всё и вся», чтобы исключить возможность применения неэффективных технических решений. Как бы то ни было, проектировщик вынужден следовать ТЗ и использовать оборудование, предусмотренное таким заданием. Тут читатель может сказать сакрентальное: «*Всё верно. Это нормально. Что же с этим поделаешь...*»

Однако, «*кто ищет — тот всегда найдёт*». Никто не отменял проектных команд. Отраслевой опыт показывает, что командная работа над проектом даёт подчас впечатляющие результаты. Особенно когда соавторы проекта — представители всех заинтересованных сторон. Каждый из них силён по-своему. Заказчик чётко понимает, что должно получиться «на выходе», погружен в специфику и тонкости задач проекта. Проектировщик понимает, каким образом оптимально «конвертировать» идеи и требования заказчика в систему, выдающую необходимые параметры. И, наконец, производитель оборудо-



❖ Чиллер [Dunham-Bush](#) серии [DCLC-D](#) (мощность 1055–10 550 кВт)

вания, которое после принципиального выбора требуется интегрировать в проект. Он досконально знает как ограничения, так и преимущества своей техники, и потому может дать неоценимые, дельные консультации проектировщику.

Если у поставщика есть глубокое понимание самого проекта — специфики здания, его архитектуры и конструктивных элементов, как именно будет использоваться оборудование на объекте (некий технологический процесс или же кондиционирование для создания комфортных условий микроклимата), то и техника обязательно будет предложена точно «под задачу».

Собственно, создание такого коллектива с установкой на честный конструктивный диалог является, пожалуй, идеальным подходом при реализации проекта. Подозрительность и разобщённость часто выливается в лишнюю работу по доработкам и переделкам, а значит и в дополнительные финансовые траты, которые заказчик так хотел сэкономить... «*Хотелось как лучше, а получилось как всегда*».

### Гаранты надёжности оборудования

Грамотная организация процесса проектирования даст наилучший результат только в том случае, если само «железо» изготовлено профессионалами с опытом. Можно бесконечно рассуждать о правильных подходах к выбору холодильной техники, но сама собой она в проекте не появится, пока мы не рассмотрим конкретные варианты.

Одним из серьёзных производителей в этом сегменте является [Dunham-Bush](#) (см. [QR-код](#)). Это компания, имеющая более чем 100-летнюю историю и внушительную базу для проведения НИОКР. Выпускаемое под этим брендом оборудование для систем холодоснабжения соответствует российским и международным

стандартам, что позволяет быть уверенным — в составе инженерной системы эта техника будет работать безупречно. Сильная сторона вендора — чиллеры с винтовыми и центробежными компрессорами. Как у любого другого производителя, в линейке выпускаемой продукции бренда присутствуют также и другие технические решения — VRF-системы, фанкойлы, прецизионные кондиционеры. Однако ключевой компетенцией всё-таки является «тяжёлое» оборудование для центральных систем холодоснабжения. Заводы [Dunham-Bush](#) расположены в Китае, в провинции Шаньдун, а также в Малайзии.

По словам Дениса Белоусова, генерального директора компании [TermoIndustry](#), официального представителя [Dunham-Bush](#) в России, на сегодняшний день эти две локации дают уверенность в стабильности поставок техники на территорию нашей страны. Но решающую роль в выборе технического решения всё же играют такие критерии, как технологичность, надёжность, производственные и сервисные возможности.

### Клиентоориентированный подход

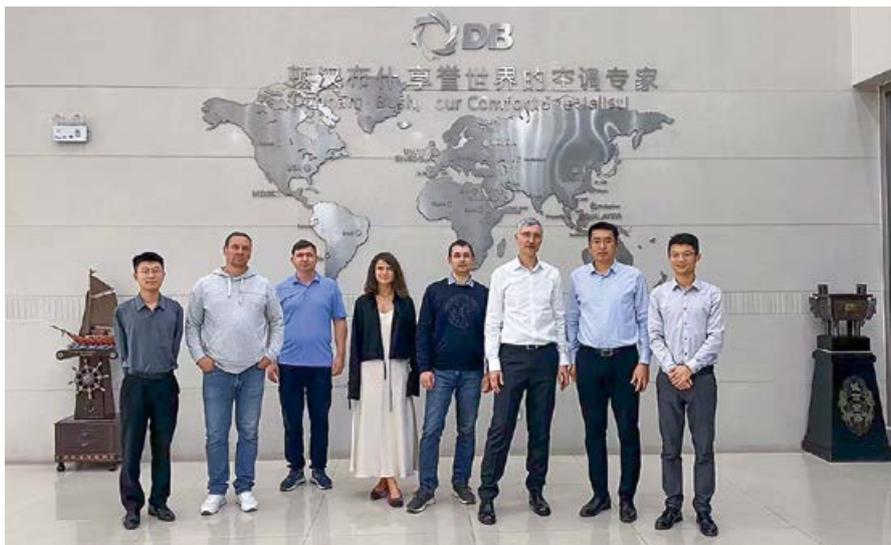
Даже в случае полной уверенности в качестве выбранного оборудования вдумчивый заказчик будет искать комплексные предложения, которые минимизируют его риски на всех этапах реализации проекта. Принцип «всё под ключ» был привлекательным для потребителя всегда: изложил профессионалам идею, согласовали принципиальные технические решения, обсудили экономику проекта — закипела работа. Создаётся индивидуальный проект, в котором максимально учитываются задачи проекта, технические решения, стоимость эксплуатации. В существующих реалиях комплексная услуга стала на рынке развивающимся трендом.

Посмотрим, как данная теория работает на практике. Но для начала оговоримся, что тернистость и продолжительность пути к поставленной цели (готовому проекту) в значительной степени зависит от открытости заказчика: чем больше доверия с его стороны, тем проще будет непосредственно исполнителю.



❖ Центробежный чиллер **Dunham-Bush** серии **DCLC-M** мощностью 281–2814 кВт

Клиент сообщает подробную информацию о назначении объекта, технологии проекта, имеющихся перспективах его развития и другие важные организационные и технические данные. Чем глубже исполнитель сможет погрузиться в технические нюансы проекта, тем более гладко пойдёт его реализация. «Понимая, сколь высокую ответственность предполагает задача организации полного цикла реализации проекта, мы выбрали команду высокопрофессиональных инженеров-проектировщиков с внушительным стажем — они могут слаженно работать как самостоятельно, так и с проектной организацией, уже взятой заказчиком на подряд, — делится опытом топ-менеджер **TermoIndustry**. — Совместные совещания с заказчиком, рассмотрение стоящих задач под разными углами несколькими специалистами дают хорошие результаты».



❖ Делегация **TermoIndustry** на заводе **Dunham-Bush**

От себя добавим, что **TermoIndustry**, привлекая к выполнению комплексной услуги специалистов с безупречными компетенциями в необходимых областях, успешно решает любые задачи проекта.

### Ввод в эксплуатацию

После проектирования и монтажа системы холодоснабжения следует ввод в эксплуатацию. На больших и серьёзных проектах в 100% случаев шефмонтаж и ввод в эксплуатацию выполняет поставщик оборудования. В этом случае можно быть уверенным в том, что специалисты аккуратно доведут свою работу до полной эксплуатационной готовности системы.

«Благодаря глубокому знанию оборудования и систем управления профессионалы

обеспечат рабочие характеристики системы холодоснабжения, и, таким образом, риск возникновения непредвиденных ситуаций сводится к минимуму», — делится опытом генеральный директор компании **TermoIndustry**.

### Логистика и сервис

Неотъемлемые составляющие комплексной услуги шефмонтажа — чётко отлаженные логистика и сервис. Поставщик должен гарантировать соответствие декларируемых и реальных возможностей. Обеспечивают такое соответствие широкой географической охват и наличие в штате компании специалистов соответствующей квалификации.

«Конечно, мы работаем на территории всей России, — комментирует Денис Белоусов. — Кроме того, в копилке нашего опыта есть работа над проектом по модернизации предприятия в Венесуэле...»

В целом задача компании — обеспечить необходимый и согласованный с заказчиком уровень поддержки. Для клиентов из удалённых регионов предусмотрена организация склада запчастей и расходных материалов. Для работы на местах и обеспечения надлежащей скорости реагирования обычно привлекаются партнёры — подрядные организации, сотрудники которых прошли обучение и уполномочены поставщиком. Практика показывает, что такая схема вполне эффективна.

Одним из гарантов успешности проекта является его централизация, а именно ведение проекта командой, понимающей проект в целом, как в техническом, так и в организационном плане на всех этапах его реализации. Причём этот подход — результат не умозрительных рассуждений, он — отображение опыта, уверен генеральный директор **TermoIndustry**. ●



❖ Поставка чиллеров **Dunham-Bush** в торговоразвлекательный центр «Парк Молл» (СПб)



❖ Центробежный чиллер в аэропорту Яньтай



# ЧИЛЛЕРЫ DUNHAM-BUSH

## БОЛЬШИЕ МОЩНОСТИ ДЛЯ БОЛЬШИХ ПРОЕКТОВ

- Запатентованные технологии
- Индивидуальные решения
- Надёжность
- Эффективность
- Высокая производительность
- Универсальность



**1055–10550 кВт**

Серия DCLC-D



**212–2988 кВт**

Серия WCFX-E



**472–2653 кВт**

Серия WCFX-V



**313–1400 кВт**

Серия WCHX-A



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ DUNHAM-BUSH В РОССИИ

8 812 339 85 45

| [www.termo-industry.ru](http://www.termo-industry.ru)

| [info@termo-industry.ru](mailto:info@termo-industry.ru)



## Гибридные системы кондиционирования на основе комбинации наружных блоков систем VRF и фанкойлов

В предлагаемом материале мы попытаемся ответить на непростой вопрос — можно ли создать систему, которая будет обладать преимуществами как систем VRF (энергоэффективность, компактность, удобство эксплуатации), так и чиллерных систем (удобство монтажа, отсутствие фреона в помещениях, большие длины трубопроводов)?

### Введение

Недавно на страницах [журнала СОК](#) мы закончили [сравнительный анализ](#) современных фреоновых (VRF) и водяных («чиллер — фанкойлы») систем кондиционирования воздуха [1]. С большим отрывом по множеству параметров «победили» системы VRF. Хотя существуют объекты (немногочисленные), где система «чиллер — фанкойлы» в принципе безальтернативна, например, высотные здания, где нет возможности применить поэтажную схему кондиционирования. Или здания аэропортов, где необходимо охлаждать огромные объёмы приточного воздуха. Оптимальная же область применения VRF — это кондиционирование большого количества сравнительно маленьких помещений.

Теперь давайте попробуем ответить на непростой вопрос — можно ли создать систему, которая будет обладать преимуществами как систем VRF (энергоэффективность, компактность, удобство эксплуатации), так и чиллерных систем (удобство монтажа, отсутствие фреона в помещениях, большие длины трубопроводов)?

Прежде чем ответить на этот вопрос, предлагаю обратить внимание на ещё одну проблему систем VRF — используемый хладагент. Сейчас во всём мире идёт активный переход от предыдущего двухкомпонентного хладагента R410a к более перспективному фреону R32. Фреон R32 наиболее часто используется сегодня в сплит-системах и мини VRF-системах. По сравнению с фреоном R410a фреон R32 обладает меньшим потенциалом глобального потепления GWP (675 против 2000) и большей удельной теплотой парообразования (309 кДж/кг против 223 кДж/кг). Следовательно, фреон R32 наносит меньший ущерб окружающей

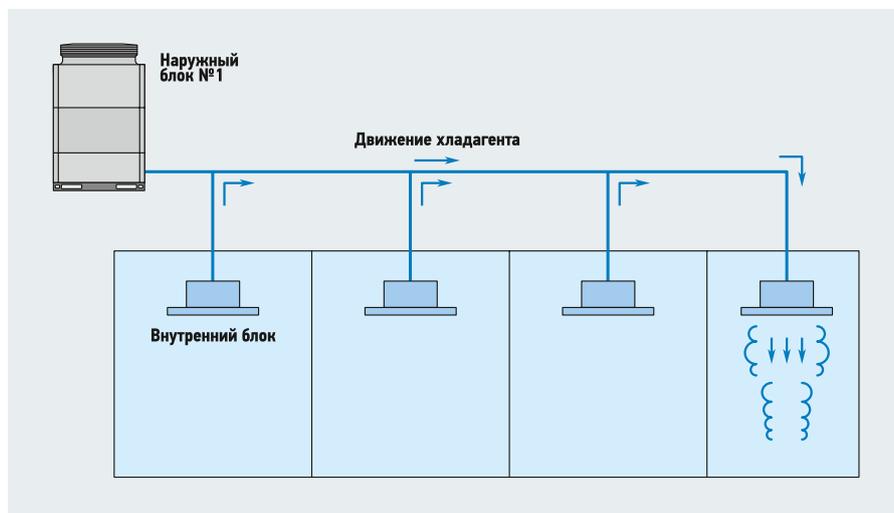
**Сравнительный анализ фреоновых и водяных систем кондиционирования воздуха [1] показал, что системы VRF выигрывают по множеству параметров. Системы «чиллер — фанкойлы» безальтернативны разве что для высотных зданий или при необходимости охладить огромные объёмы приточного воздуха (аэропорты)**

среде и способен нести больше энергии на килограмм энергоносителя (табл. 1). С другой стороны, он относится к трудногорючим веществам, что повышает риск пожара в зданиях. Именно поэтому сегодня фреон R32 не используют в больших VRF-системах, а только в сплит-системах и мини-VRF.

То есть можно обозначить первую проблему систем VRF — сложность использования нового хладагента R32 в системах производительностью более 12 кВт по холоду из-за его горючести.

Следующая проблема систем VRF — возможное превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) фреона в обслуживаемых помещениях. В отличие от чиллерных систем, где во внутренних блоках находится безвредная для человека вода, во внутренних блоках VRF циркулирует фреон. При определённых условиях может произойти его утечка, поэтому при проектировании необходимо проверять ПДК фреона в помещении при возможной аварии. Проверяется обычно самое маленькое помещение на одном фреоновом контуре (рис. 1).

Решение проблемы превышения ПДК фреона в обслуживаемых помещениях при аварийном выбросе может решаться тремя способами.



●● Рис. 1. Определение расчётного помещения для расчёта ПДК при аварийном выбросе хладагента

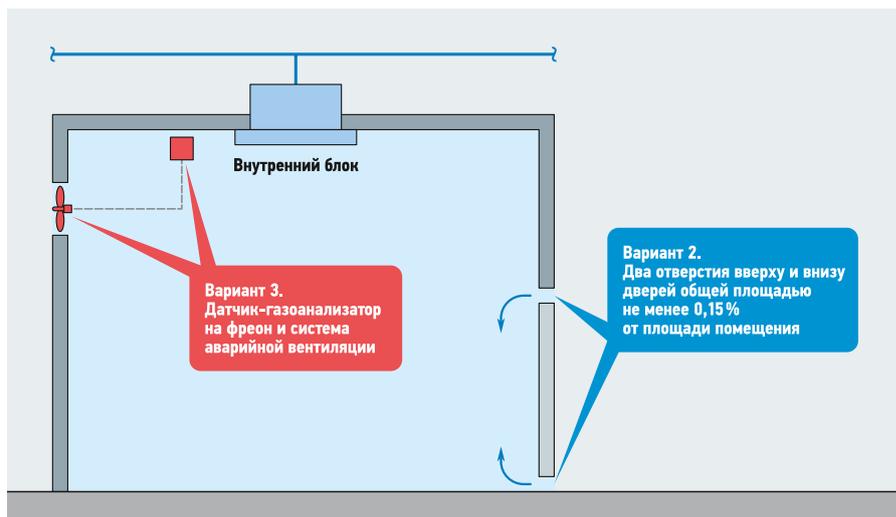
**Первый способ** — самый простой и эффективный. Необходимо разбить систему VRF на несколько независимых контуров таким образом, чтобы количество фреона в одном контуре не могло привести к превышению аварийной концентрации даже в самом маленьком помещении. Для этого удобно пользоваться табл. 3.

Как видно из табл. 3, при всех своих плюсах фреон R32 сильно уступает фреону R410a с точки зрения применения в больших системах. Фактически из-за требований безопасности применение фреона R32 ограничено мини-VRF-системами производительностью до 12 кВт.

**Второй способ.** Необходимо обеспечить проёмы сверху и внизу дверей площадью не менее 0,15% от площади помещения (рис. 2), чтобы помещение, по сути, стало открытым. Если у нас площадь помещения 12 м<sup>2</sup>, то нам необходимы отверстия общей площадью:

$$12 \times 0,0015 = 0,018 \text{ м}^2.$$

**И, наконец, третий способ.** Необходимо во всех критичных помещениях установить датчик-газоанализатор на используемый фреон и отдельную систему аварийной вентиляции. В случае превышения ПДК фреона датчик даёт сигнал на



❖ **Рис. 2.** Варианты контроля и удаления газообразного фреона при аварийном выбросе



систему оповещения людей и на включение аварийной вентиляции помещений (рис. 2). Например, компания Daikin пошла по этому пути и выпустила полноценную систему VRF на фреоне R32, оснастив её «технологией Shirudo» [2]. Технология Shirudo включает в себя меры контроля хладагента, а именно: датчики контроля концентрации фреона во внутреннем воздухе; запорные клапаны хладагента, позволяющие при аварии «собрать» весь хладагент в наружном блоке; и сигнализацию при утечке хладагента.

Итак, сегодня системы VRF, при всех своих плюсах, столкнулись с некоторыми проблемами использования новых хладагентов, в первую очередь R32. У чиллерных систем таких проблем нет, они легко перешли на новые хладагенты — от R32 до R290 (пропан).

Означает ли это, что мы увидим закат систем VRF как класса оборудования во всём мире? Я убеждён, что нет. Какие есть аргументы «за»?

1. Для мини-VRF-систем до 12 кВт по холоду никаких проблем с использованием хладагента R32 нет. А это как минимум пятая часть рынка систем VRF.
2. Фреон R410a на сегодняшний момент не является запрещённым фреоном. Он успешно применяется в полноразмерных системах VRF. Скорее всего, так и будет, пока не будет найдено устраивающее всех решение по большим системам.
3. Уже сегодня существуют решения, позволяющие обойти проблемы, связанные с аварийным выбросом фреона R32 в обслуживаемые помещения. Вот об этих решениях мы сейчас поговорим.

Существуют системы кондиционирования воздуха [3], создатели которых попытались объединить два типа систем: VRF и «чиллер — фанкойлы». Рассмотрим сначала их конструкцию.

❖ **Сравнение характеристик актуальных хладагентов**

табл. 1

Фреоны	R410a	R32
Количество компонентов	2	1
Компоненты	R32/R125	R32
Химическая формула	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub> /CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>
Доля, %	50/50	100
Температура кипения при 1 атм, °C	-51,4	-51,7
Абсолютное давление жидкости при +5 °C, МПа	0,921	0,953
Абсолютное давление газа при +45 °C, МПа	2,72	2,79
Плотность насыщенного газа при +5 °C, кг/м <sup>3</sup>	33,7	25,8
Удельная теплота парообразования при +5 °C, кДж/кг	223	309
Азеотропность	Псевдоазеотропная смесь	—
Температурный глайд, °C	0,11	0
Озоноразрушающий потенциал (Ozone Depletion Potential, ODP)	0	0
Потенциал глобального потепления (Global Warming Potential, GWP)	2000	675
Группа токсичности	A (слабая)	A (слабая)
Практический предел концентрации для человека, г/м <sup>3</sup>	440	61
Группа горючести	1 (негорючие)	2 (трудно горючие)
Тип смазочного масла	POE	POE

❖ **Аварийные концентрации хладагента в помещениях**

табл. 2

Хладагент	R22	R134a	R407c	R410a	R32
Аварийная концентрация, г/м <sup>3</sup>	300	250	310	440	61

❖ **Максимально допустимая производительность систем VRF**

табл. 3

Параметр	1	2	3	4	5
Площадь самого маленького помещения, м <sup>2</sup>	15	20	25	30	50
Макс. производительность системы VRF на R32, кВт	12	16	20	24	40
Макс. производительность системы VRF на R410a, кВт	37	49	61	74	121

Наружный блок является обычным наружным блоком VRF-системы. Следовательно, новая система наследует все преимущества наружных блоков VRF. А именно: компактность, энергоэффективность, низкий уровень шума и т.д. Далее от наружного блока хладагент поступает по трубопроводам в обслуживаемое здание. Но не непосредственно к внутренним блокам, а к промежуточному блоку (рис. 3 и 4). Данный блок является, по сути, теплообменником между хладагентом внешнего циркуляционного контура и водой внутреннего контура.

Кроме теплообменника, в данном блоке также содержится циркуляционный водяной насос и расширительный бак. Далее вода поступает непосредственно к внутренним блокам, которые являются фанкойлами.

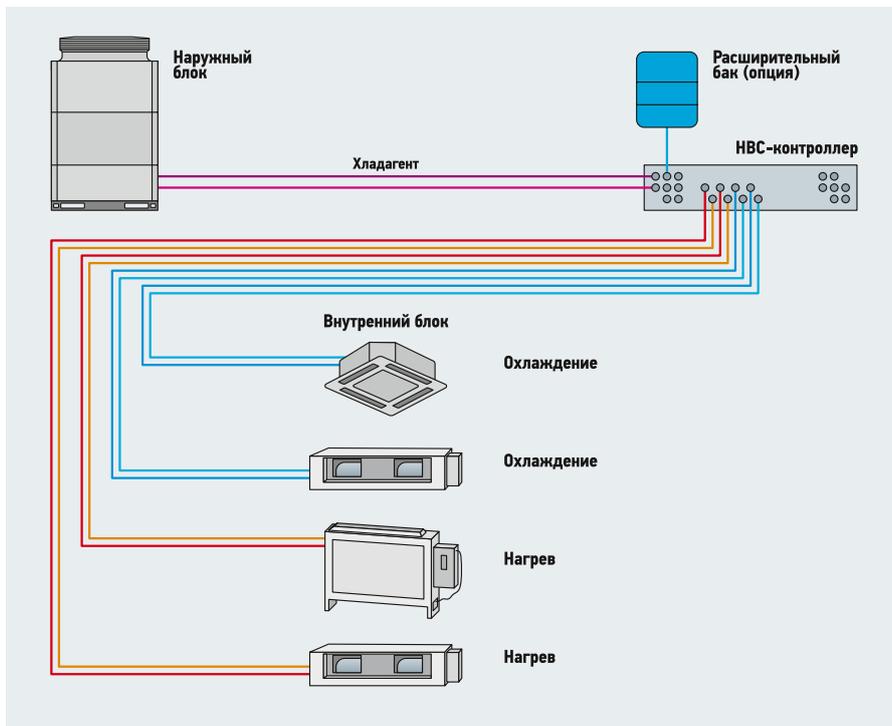
**В чём преимущества новой системы по сравнению с системами VRF?**

1. В обслуживаемых помещениях циркулирует только вода, следовательно, нет даже теоретической возможности попадания фреона в зону нахождения людей.
2. Общее количество используемого хладагента меньше за счёт более коротких жидкостных трубопроводов и отсутствия фреона во внутренних блоках.
3. Система может использовать новые хладагенты, например, R32.
4. Охлаждённая вода может подаваться значительно дальше, чем фреон.

**В чём преимущества новой системы по сравнению с системами «чиллер — фанкойлы»?**

1. Наружные блоки систем VRF более энергоэффективны, чем чиллеры даже с инверторными компрессорами.
2. Уровень шума наружного блока VRF меньше, чем у чиллера той же производительности.
3. Наружный блок VRF компактнее за счёт отсутствия теплообменника «фреон — вода» и гидромодуля.
4. В новой системе нет необходимости использовать незамерзающие растворы, ухудшающие энергоэффективность системы в целом, поскольку вода находится только внутри здания.
5. Энергопотребление насосов в новой системе значительно меньше, чем в стандартном чиллере. Поскольку производительность насосов подстраивается под текущую производительность наружного блока, длина циркуляционного кольца значительно меньше, потери напора также меньше.

Особенности сравниваемых трёх типов систем кондиционирования указаны в табл. 4. Рассмотрим основные характеристики этих систем.



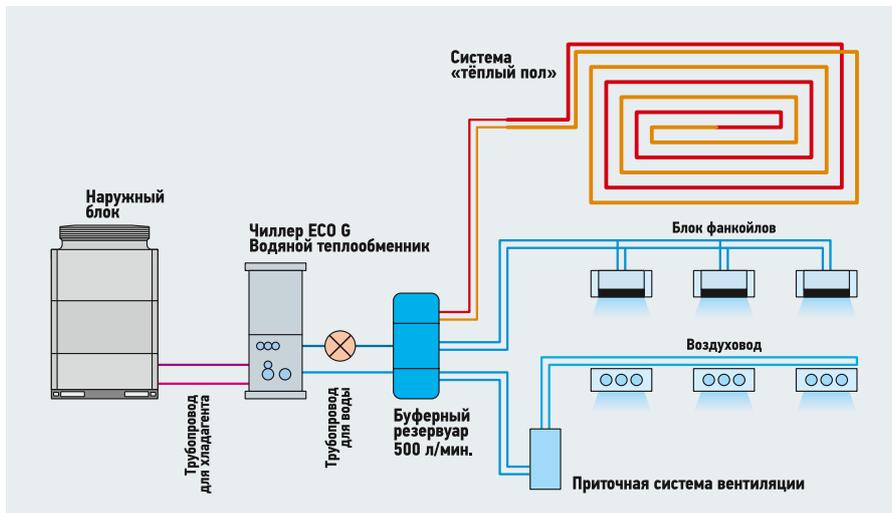
•• Рис. 3. Гибридная система с наружным блоком VRF и внутренними блоками — фанкойлами Mitsubishi Electric. Возможна одновременная работа части фанкойлов на тепло и на холод

**Фактическая производительность внутренних блоков.** Поскольку в гибридных системах внутренние блоки являются обычными фанкойлами, фактическая производительность внутренних блоков новой системы полностью совпадает с водяными системами и немного проигрывает системам VRF. Поскольку температура кипения хладагента во внутренних блоках VRF около +5°C, а температура воды в фанкойлах +7...+12°C, температурный потенциал для систем VRF выше. Это приводит к большей производительности внутренних блоков при реальных температурах внутреннего воздуха.

**Потери производительности источников холода на 100 м трубопровода.** В гибридных системах нет гликоля (незамерзающей жидкости) в наружном блоке, как,

например, в чиллере, следовательно, нет потерь производительности при переходе на гликоль. С другой стороны, есть потери давления по длине, как в VRF. За счёт более короткой фреоновой трассы потери производительности источников холода гибридных систем меньше. Фактические потери производительности гибридных систем на 100 м трассы будут около 12%.

**Диапазон работы по наружной температуре.** Наружные блоки VRF-систем обладают большим диапазоном работы по наружной температуре, чем чиллеры. Следовательно гибридные системы по этому параметру обладают всеми преимуществами VRF. Диапазон работы зависит от конкретного производителя, но составляет примерно от -25 до +20°C в режиме тепла и от -15 до +52°C в режиме холода.



•• Рис. 4. Гибридная система Panasonic. Возможно подключение как фанкойлов, так и тёплого пола

❖ Сравнение преимуществ и недостатков трёх типов систем

табл. 4

№	Критерий сравнения	VRF	Инверторный чиллер + фанкойлы	Гибрид «VRF + фанкойлы»
1.	Фактическая производительность внутренних блоков в реальных условиях	больше	меньше	меньше
2.	Потери производительности источников холода на 100 м трубопровода, %	16	9	12
3.	Диапазон работы по наружной температуре	больше	меньше	больше
4.	Относительная влажность в помещениях в тёплый период	меньше	больше	больше
5.	Скорость воздушных потоков в помещениях	меньше	больше	больше
6.	Уровень шума внутренних блоков	меньше	больше	больше
7.	Надёжность функционирования	больше	меньше	средняя
8.	Габаритные размеры внутренних блоков	меньше	больше	больше
9.	Габаритные размеры наружных блоков (чиллеров)	меньше	больше	меньше
10.	Габаритные размеры соединительных трубопроводов	меньше	больше	меньше
11.	Ограничения на длину магистралей и перепад высот между элементами оборудования	есть	нет	практически нет
12.	Максимальный расход электроэнергии (установочная мощность)	меньше	больше	средняя
13.	Средний расход электроэнергии за сезон (энергопотребление)	меньше	больше	средний
14.	Энергопотребление сезонное систем с водяным охлаждением конденсатора	меньше	больше	среднее
15.	Капитальные затраты, \$/кВт	700–1450	1300–2700	1200–2550
16.	Текущие затраты	меньше	больше	средние
17.	Общие затраты за 15 лет, \$/кВт	900–1650	1700–3000	1400–2850

**Уровень шума внутренних блоков.** По этому критерию гибридные системы ничем не отличаются от чиллерных. Использование фанкойлов в качестве внутренних блоков автоматически увеличивает уровень шума в помещении. Необходимо более тщательно подходить к выбору модели и применять дополнительные методы шумоглушения для особо тихих помещений. Например, использовать канальные фанкойлы с шумоглушителем на выходе воздуха.

**Надёжность функционирования.** Достаточно сложный вопрос, но в целом за счёт дополнительных элементов системы (насосы, теплообменники «фреон — вода», запорные клапаны, расширительные баки), которые могут выйти из строя, гибридные системы менее надёжны, чем VRF.

**Габаритные размеры источников холода.** Наружные блоки VRF по определению более компактны, чем чиллер.

Следовательно, гибридные системы также ещё и компактнее, чем чиллерные системы. При этом, по сравнению с VRF-системами, гибридные системы всё же проигрывают за счёт появления гидравлического модуля, который тоже требует места для монтажа внутри здания.

**Ограничения на длину трубопроводов и перепад высот.** Вот по этому параметру гибридные системы более приближены к чиллерным. Гидравлический модуль может располагаться не так далеко от наружного блока VRF — в среднем до 150 м длина и до 90 м перепад высот. Однако водяной трубопровод мы можем протянуть как угодно далеко при соответствующем напоре насоса и потере давления в трубопроводах.

**Энергоэффективность.** Как мы выяснили ранее, VRF-системы обладают энергопотреблением в полтора-два раза меньше, чем чиллерные системы. Происходит это за счёт: инверторного компрессора, отсутствия насосов внутреннего циркуляционного контура, отсутствия насосов гликолевого циркуляционного контура, большего энергопотребления фанкойлов, потерь холода через стенки водяных трубопроводов у чиллерных систем. Если мы вернёмся сейчас к гибридным системам, то можно сделать однозначный вывод, что их энергопотребление будет всё-таки больше, чем у классической VRF-системы за счёт: насосов внутреннего циркуляционного контура, большего энергопотребления фанкойлов, потерь холода через стенки водяных трубопроводов. В целом можно оценить энергоэффективность гибридных систем как нечто среднее между чиллерными системами и VRF-системами.

**Капитальные затраты.** VRF-системы сегодня обходятся дешевле по капитальным затратам, чем чиллерные той же производительности и характеристик. Однако гибридные системы содержат допол-

нительный элемент — гидравлический модуль, который передаёт тепло или холод от хладагента к воде. Насос и расширительный бак также увеличивают стоимость системы. Поэтому в целом гибридные системы будут стоить за 1 кВт холода примерно столько же, как и инверторные чиллерные системы.

### Выводы

Новые системы кондиционирования воздуха, основанные на комбинации наружного блока системы VRF и фанкойлов, без сомнения, займут свою нишу. На малой производительности (до 20 кВт по холоду) никакого смысла их применять, конечно, нет, поскольку эту нишу успешно занимают мини-VRF-системы, которые проще, дешевле и энергоэффективнее систем с фанкойлами. А вот на производительности от 20 кВт и выше вполне можно рассматривать новые системы как более комфортную альтернативу системам «чиллер — фанкойлы», с одной стороны, и более безопасную для пользователей, чем мощная система VRF, — с другой стороны. Если ещё вспомнить, что гидравлический контур может не только охлаждать помещения, но и подогревать воду для санитарных нужд или быть источником теплоснабжения для системы «тёплый пол» в холодный период, то можно находить очень интересные решения для различных типов жилых зданий, гостиниц и спа-центров. ●

**Комбинированная система кондиционирования воздуха, основанная на наружном блоке системы VRF и фанкойлах, на производительности от 20 кВт и выше может рассматриваться как более комфортная альтернатива системам «чиллер — фанкойлы», будучи более безопасной для пользователей, чем мощная система VRF**

1. Брух С.В. VRF или чиллер? Сравнительный анализ современных водяных и фреоновых систем кондиционирования [серия статей] // Журнал СОК, 2022. №1. С. 62–69; №2. С. 40–43; №3. С. 50–54; №4. С. 52–57.
2. Daikin. Система VRV5 Heat Recovery.
3. Mitsubishi Electric. Система City Multi Hybrid R2.

# О повышении точности регулирования систем вентиляции за счёт применения искусственных нейронных сетей\*

Рецензия эксперта на статью получена 30.06.2023 [The expert review of the article was received on June 30, 2023]

## Оптимизация алгоритма работы системы автоматизации тепловых пунктов после проведения оптимизации

Регулирование перепада давления на вводе сетевой воды в тепловой пункт осуществляется в зависимости от разности значений показаний датчиков давления. Регулирование температуры в системе ГВС осуществляется в зависимости от показаний датчика температуры путём воздействия на исполнительные механизмы клапана. Схема подключения — циркуляционно-повысительная. При регулировании температуры теплоносителя после водоподогревателя отопления осуществляется в зависимости от показаний датчика температуры наружного воздуха в соответствии с заданным температурным графиком путём воздействия на исполнительный механизм клапана. Поддержание заданного давления (65 м водн. ст.) в системах, например, в ХВС первой зоны осуществляется путём изменения частоты вращения рабочего насоса при помощи существующего преобразователя частоты в зависимости от показаний датчиков, установленных на трубопроводах ХВС и обратном ГВС второй зоны.

В каждой системе предусматривается защита от «сухого хода» при уменьшении давления не менее 6 м водн. ст. по показанию датчика. Подобное управление достигается путём применения современных измерительных приборов.

Выполнение тонкой подстройки режимов ИТП под особенности объекта, как правило, выполняется вручную. Перенастройка выполняется редко и тоже вручную, что свидетельствует о невысокой

точности процесса. Повысить эффективность процесса тонкой настройки можно за счёт применения программного обеспечения с искусственными нейронными сетями (ИНС).

Применение ИНС требует предварительного сбора и анализа существенно большего объёма данных о тепловом профиле объекта. Накопление Big Data осуществляется за счёт установки дополнительного числа измерителей с повышенным классом точности. Подобную модернизацию необходимо проверить на предмет изменения результирующей точности измерений.

## Оценка погрешности измерений в исходном состоянии и после проведения оптимизации АСУ ИТП

В исходном состоянии автоматизированной системы управления (АСУ) ИТП контроль и управление технологическим процессом проводилось по 20 параметрам давления, расхода и температуры. После проведения оптимизации контроль и управление технологическим процессом проводится по 26 параметрам, спецификация которых приведена в табл. 1.

Оценка погрешности выполняется в соответствии с документом [1]. Суммарная погрешность измерителей в исходном состоянии АСУ теплового пункта составляла 35,25 %.

Погрешность измерений после проведения оптимизации значительно снизилась по всем подсистемам. Например, после проведения оптимизации погрешность измерения температуры в подающем трубопроводе ГВС Т7 снизилась с 4,0 до 0,75 °С. Комплектный шкаф автомати-

УДК 621.1.016. Научная специальность: 2.1.3 (05.23.05).

### О повышении точности регулирования систем вентиляции за счёт применения искусственных нейронных сетей

**С. В. Гужов**, к.т.н., доцент, [Московский энергетический институт \(НИУ «МЭИ»\);](#) **А. А. Арбатский**, к.т.н., генеральный директор НИИ «Инженерных климатических систем и электроники»; **Д. В. Тороп**, студент, [НИУ «МЭИ»](#)

Система вентиляции некоторых офисных и торгово-развлекательных центров, а также типовых зданий школ зачастую обеспечивает и отопление объекта. К индивидуальным тепловым пунктам (ИТП) таких зданий предъявляются дополнительные требования, касающиеся работы системы автоматизации для соблюдения температуры подготавливаемого воздуха. Распространённые сейчас схемы ИТП не предоставляют возможности качественно сформировать тепловой профиль здания. В статье показана возможность дополнения существующего ИТП набором современных измерителей, позволяющих при одновременном повышении точности измерений выполнить обучение искусственной нейронной сети с последующей настройкой ПИД-регулятора. Приведена оптимальная по достигаемой точности структура искусственной нейронной сети (ИНС). На примере типового здания VI-49 школы, расположенной в городе Москве, показано, что эффект от уточнённой настройки ПИД-регулятора ИТП составляет 6–9%. Достигаемый расчётный эффект свыше 100 тыс. руб. в год.

**Ключевые слова:** общеобменная вентиляция, тепловой профиль здания, Big Data, индивидуальный тепловой пункт, погрешность, нейросетевая модель, ПИД-регулятор.

UDC 621.1.016. The number of scientific specialty: 2.1.3 (05.23.05).

### On improving the accuracy of ventilation systems regulation through the use of artificial neural networks

**S. V. Guzhov**, PhD, Associate Professor, [National Research University "Moscow Power Engineering Institute" \(NRU "MPEI"\);](#) **A. A. Arbatsky**, PhD, general director of the "Engineering Climate Systems and Electronics" Research Institute; **D. V. Torop**, student, [NRU "MPEI"](#)

The ventilation system of some office and shopping and entertainment centers, as well as typical school buildings, often provides heating for the facility. Additional requirements are imposed on the individual heating points (IHP) of such buildings regarding the operation of the automation system to maintain the temperature of the prepared air. The current IHP schemes do not provide an opportunity to qualitatively form the thermal profile of a building. The article shows the possibility of supplementing the existing IHP with a set of modern meters that allow, while increasing the accuracy of measurements, to train an artificial neural network with subsequent adjustment of the PID controller. The structure of an artificial neural network (ANN), optimal in terms of achieved accuracy, is given. On the example of a typical building No. VI-49 of a school located in the city of Moscow, it is shown, that the effect of the refined setting of the PID controller, etc. is 6–9%. The estimated effect achieved is over 100 thousand rubles per year.

**Key words:** general ventilation, building thermal profile, bigdata, individual heating point, error, neural network model, PID controller.

:: Оценка погрешности измерений «до» и «после» проведения оптимизации АСУ ИТП табл. 1

№	Измеряемый параметр	До, ед./Δ, %	После, ед./Δ, %
1	Шкаф комплектный автоматизации	-/-	1/0,15
2	Пост управления	5/-	5/-
3	Давление воды в подающем трубопроводе теплосети (т/с)	1/1,5	1/0,5
4	Давление воды в подающем трубопроводе т/с после клапана т/с	1/1,5	1/0,5
5	Давление воды в обратном трубопроводе т/с	1/1,5	1/0,5
6	Давление воды в обратном трубопроводе т/с перед клапаном т/с	1/1,5	1/0,5
7	Давление воды в подающем трубопроводе ГВС после ВПГ	1/1,5	1/0,5
8	Давление воды в обратном трубопроводе ГВС	1/1,5	1/0,5
9	Давление воды в подающем трубопроводе ЦО	1/1,5	1/0,5
10	Давление воды в обратном трубопроводе ЦО	1/1,5	1/0,5
11	Давление воды трубопровода ХВС	1/1,5	1/0,5
12	Давление воды в водопроводе ГВС	1/1,5	1/0,5
13	Минимальное давление воды в водопроводе ГВС	-/-	1/0,25
14	Перепад давления на насосах ГВС	-/-	1/0,25
15	Перепад давления на насосах ХВС	-/-	3/0,25
16	Перепад давления на насосах НО	-/-	2/0,25
17	Температура воды в подающем трубопроводе т/с	1/2,5	-/-
18	Температура воды в обратном трубопроводе т/с	1/2,5	-/-
19	Расход воды в подающем трубопроводе т/с	1/2	1/2
	Расход воды в обратном трубопроводе т/с	1/2	1/2
	Температура воды в подающем трубопроводе т/с	1/0,25	1/0,25
	Температура воды в обратном трубопроводе т/с	1/0,25	1/0,25
20	Температура воды в подающем трубопроводе ГВС после ВПГ	1/0,25	1/0,25
21	Температура воды в подающем трубопроводе ГВС после ВПГ	1/2,5	-/-
22	Температура воды в обратном трубопроводе ГВС	1/2,5	1/0,25
23	Температура наружного воздуха	1/0,25	1/0,25
24	Температура воды в подающем трубопроводе ЦО после ВПО	1/0,25	1/0,25
25	Температура воды в подающем трубопроводе ЦО после ВПО	1/2,5	-/-
26	Температура воды в обратном трубопроводе ЦО	1/2,5	1/0,25

зации (ШКА) на базе многофункционального контроллера МФК-1500, предел основной погрешности ±0,15%.

Основная приведённая погрешность ТПУ-205 Δ = ±0,25%, дополнительная не должна превышать 0,5% от основной:

$$\gamma_{ТПУ} = 0,25 + 0,5 \times 0,25 = 0,375\%$$

Основная приведённая погрешность ШКА Δ = ±0,15%, дополнительная приведённая погрешность не должна превышать 0,7% от основной:

$$\gamma_{ШКА} = 0,15 + 0,7 \times 0,15 = 0,255\%$$

Тогда суммарная погрешность:

$$\gamma_{сум} = 1,1(\gamma_{ТПУ}^2 + \gamma_{ШКА}^2)^{0,5} = 1,1 \times (0,3752 + 0,2552)^{0,5} = 0,499\%$$

Для диапазона D\* измеряемых температур от 0°C до +150°C суммарная погрешность составляет:

$$\Delta = D^* \gamma_{сум} / 100\% = (0^\circ\text{C} + 150^\circ\text{C}) \times 0,499\% / 100\% = 0,75^\circ\text{C}.$$

Расчёт произведён для измеряемой температуры t = 60 ± 0,75°C. Основной вклад в снижение погрешности в оптимизированной АСУ внесло применение термопреобразователя ТПУ-205 с пределом допускаемой основной приведённой погрешности Δ = ±0,25% вместо биметаллического термометра типа БТ с классом точности 2,5. Суммарная погрешность после оптимизации АСУ теплового пункта составляет 11,75%.

Повышение точности регулирования систем вентиляции посредством применения ИНС для настройки ПИД-регуляторов ИТП

### Повышение точности регулирования систем вентиляции посредством применения ИНС для настройки ПИД-регуляторов ИТП

Использование уточнённых методов прогнозирования теплопотребления для зданий типовых проектов позволит существенно точнее обосновать целесообразность внедрения энергосберегающих технологий с целью увеличения их экологической эффективности и снижения вклада в углеродный след города Москвы.

Поскольку использование дополнительных измерителей не приводит к увеличению погрешности и не влияет на точность настройки, то становится возможным применить искусственные нейронные сети для настройки ПИД-регуляторов ИТП.

Установлено, что наиболее оптимальными для модели нейронной сети, применяемой для решения поставленной задачи,

являются следующие параметры: количество эпох обучения — 100 ед.; три слоя по 256/64/256 нейронов, соответственно; функция потерь — MAE; функция активации — гиперболический тангенс.

Данная модель показала наименьшие значения функций потерь среди всех остальных экспериментов: средняя абсолютная ошибка MAE = 10,11%, среднеквадратичное отклонение (Root Mean Square Error) RMSE = 19,28%.

Обучение ИНС и создание на её основе теплового профиля здания позволяет определить значения для настройки ПИД регулятора. Интегральная составляющая (I) регулятора учитывает сумму прошлых ошибок и использует их для коррекции текущей ошибки. Она позволяет устранить остаточную ошибку и обеспечить точность регулирования в долгосрочной перспективе. Дифференциальная составляющая (D) регулятора учитывает скорость изменения ошибки и предотвратить резкие изменения.

Применение искусственных нейронных сетей в качестве инструмента предиктивной аналитики позволяет на 6–9% повысить точность регулирования теплообеспечения объекта и пропорционально снизить углеродный след от теплопотребления зданиями типовой застройки.

Численный эксперимент, проведённый для типового здания VI-49 школы, показал, что при внедрении предиктивной аналитики в систему автоматизации теплового пункта экономия для конечного потребителя составит:

$$\Delta S_3 = C_{тэ} \Delta Q_{потр} = 2685,54 \times 38,22 = 102,6 \text{ тыс. руб. в год,}$$

где ΔQ<sub>потр</sub> — величина изменения количества тепла, потребляемого зданием, Гкал/год; C<sub>тэ</sub> — тариф на тепловую энергию, поставляемую ПАО «МОЭК», руб/Гкал.

С помощью нейросетевого программного обеспечения достигается не только расчёт ожидаемого значения количества потребляемой тепловой энергии, но и температуры отпускаемого теплоносителя с ЦТП, а также коэффициенты ПИД-регулятора для повышения эффективности регулирования системы теплоснабжения. Качественно снижается ошибка, возникающая при ручном настраивании регулятора, что влечёт за собой снижение перерасхода тепловой энергии и повышение общей экономической эффективности всей системы. ●

1. РД 153-34.0-11.201-97. Методика определения обобщённых метрологических характеристик измерительных каналов ИИС и АСУ ТП по метрологическим характеристикам агрегатных средств измерений. — М.: СПО ОРГРЭС, 1999.

References — see page 78.



НОЭ создано 21 марта 2011 года

За время своего существования НОЭ приобрело солидную деловую репутацию, внесло весомый вклад в повышение энергетической эффективности экономики России.

## Нужна широкая экспертная консолидация в вопросах повышения энергоэффективности экономики

Сегодня происходит переосмысление государственной политики России и отраслевых стратегий в направлении выявления национальных интересов и их взаимного согласования. В статье даётся описание развития ситуации в части повышения энергоэффективности российской экономики и приведена справка о вкладе в поддержку и развитие этой прогрессивной тенденции со стороны [НОЭ](#).

Несмотря на то, что повышение энергоэффективности признано одним из государственных приоритетов, что подтверждается как заявлениями на самом высоком уровне, так и принятыми документами, и данными поручениями, и оно способствует реализации национальных климатических целей (которые также не изменяются), в последнее время высказываются сомнения в своевременности и актуальности целей и деятельности по энергосбережению и повышению энергоэффективности. Среди приводимых аргументов «против» — дешевизна и доступность собственных энергетических ресурсов, якобы дороговизна мер по энергоэффективности, якобы угроза прибыльной работе промышленного комплекса в непростых условиях санкций.

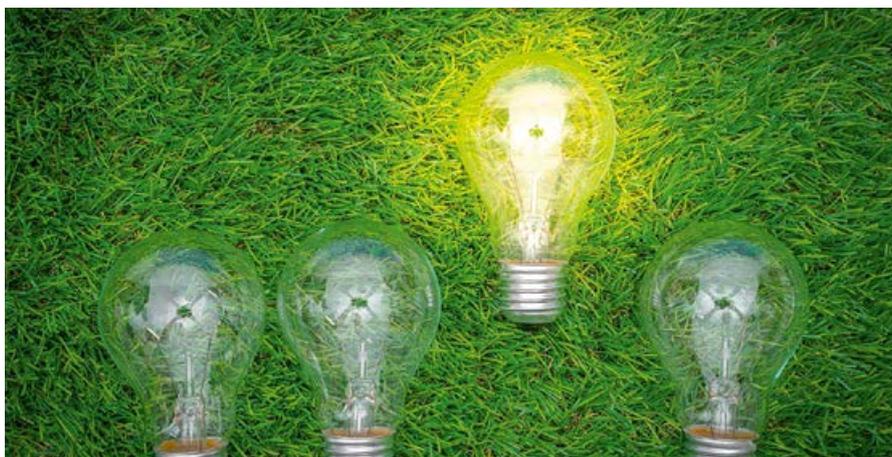
Позиция [НОЭ](#), как одной из серьёзных сил, объединяющей огромное множество профессиональных участников рынка, такова — повышение энергоэффективности не только не мешает развитию предприятий и экономики в целом, но остаётся залогом его качества и устойчивости.

Поэтому вся деятельность [НОЭ](#) направлена именно на реализацию конкретных проектов, часто пионерных, продвижение повестки, создание фундамента для системной работы всех участников соответствующих рынков, консолидацию конструктивных сил в профессиональное сообщество.

### Широкая коалиция

Сегодня [НОЭ](#) на основе добровольного членства объединяет 22 действительных и 248 ассоциированных членов, работающих в области энергосбережения, повышения энергетической эффективности, возобновляемых источников энергии (ВИЭ). [НОЭ](#) привлекает ведущих отраслевых экспертов для обсуждения актуальных вопросов, выработки предложений в нормативную базу.

При [НОЭ](#) с 2019 года действует Центр компетенций (ЦК) ресурсосбережения, энергетической эффективности и экологии, объединяющий 23 ассоциации. Вместе они формируют уникальную по широте и глубине отраслевой экспертизы профессиональную площадку, способную дать экспертную обратную связь или рекомендацию по любому вопросу в указанной области. Основными направлениями деятельности Центра компетенций являются подготовка нормативных правовых актов, вопросы технического регулирования и стандартизации, контроля качества выпускаемой продукции, а также подготовки высококвалифицированных специалистов в области энергетической эффективности, ресурсосбережения и экологии. Практикуются и организуемые [НОЭ](#) видеоконференции Центра компетенций по актуальным вопросам ресурсосбережения, энергоэффективности и экологии в интересах участников рынка.



**Автор:** Леонид ПИТЕРСКИЙ, президент [Национального объединения организаций в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности \(НОЭ\)](#)



Представители [НОЭ](#) в качестве экспертов входят в состав рабочей группы по разработке государственной программы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности до 2035 года», созданной при Центре стратегических разработок и Министерстве экономического развития Российской Федерации.

Члены Объединения представлены в основных отраслевых структурах, среди которых Экспертный совет Комитета Государственной Думы ФС РФ по энергетике; Общероссийский народный фронт; в экспертных общественных советах и рабочих группах при федеральных органах исполнительной власти (Минэкономразвития, Минэнерго, Минстрой, Минпромторг России), в крупнейших бизнес-объединениях («Деловая Россия», ТПП и РСПП, а также их региональные отделения), в рабочих органах отраслевых союзов и ассоциаций, региональных органов исполнительной власти.

**Создать фундамент через стандарты** [НОЭ](#) ведёт большую работу в Технических комитетах по стандартизации (ТК), рассматривая это как необходимый вклад в создание основ, на которых в течение ближайших лет будет основываться деятельность всех вовлечённых.

Прежде всего в фокусе внимания [НОЭ](#) ТК 039 «Энергосбережение, энергетическая эффективность, энергоменеджмент» (приказом Росстандарта с 2017 года [НОЭ](#) исполняет функции по ведению дел его секретариата, а президент [НОЭ](#) является председателем ТК).

В состав Технического комитета входят 27 профильных организаций, на его базе функционируют пять подкомитетов и Экспертный совет по объектам и технологиям высокой энергетической эффективности. Это отдельный пласт работы — мы заинтересованы в расширении и развитии перечня объектов и технологий, которые относятся к объектам высокой

энергоэффективности (Постановление Правительства РФ от 17 июня 2015 года №600). На ТК 039 возложена функция проверки объектов (технологий) на предмет их соответствия критериям высокой энергетической эффективности и выдачи заключений о возможности включения этих объектов в Перечень. На основании заявок, оформленных надлежащим образом, ТК осуществляет его актуализацию. Напомню, в качестве стимула к применению таких технологий и оборудования предусмотрены льготы по налогу на имущество, ускоренная амортизация и налоговый кредит. Эта работа приобретает особое значение в контексте развития отечественных производств и достижения технологического суверенитета.

**В рамках [НОЭ](#) создан Центр оценки квалификаций, и с сентября 2022 года Центр уполномочен проводить независимую оценку квалификации «Главный инженер проекта (специалист по организации строительства)» (седьмой уровень квалификации)**

Чтобы показать масштаб работы, достаточно сказать, что за 2022 год в «Программу национальной стандартизации» от ТК 039 вошло 15 работ (причём 13 стандартов из этих 15-ти разрабатываются без привлечения средств федерального бюджета, за счёт собственных возможностей. По семи национальным стандартам работа велась уже в 2022 году, в том числе ряд стандартов в развитие системы документов по энергоменеджменту, по экономической оценке, по применению в этих целях энергетических данных.

Считаем большой вехой для экономики появление новой версии стандарта [ГОСТ Р ИСО 50001–2023](#) на основе ме-

ждународного стандарта [ISO 50001:2018](#). Системная работа по энергетическому менеджменту ведётся в большинстве крупных и энергоёмких компаний, регулируемых организациях и холдингах. Это не только помогает сдерживать долю энергоресурсов в себестоимости и достигать операционных улучшений, но и идёт в ногу со снижением углеродного следа продукции, что важно и для экспортёров, и для законопослушного ответственного бизнеса в контексте развивающегося в России углеродного регулирования. Появление максимально актуальной российской версии стандарта особенно важно в контексте ограничений на применение зарубежных систем сертификации и необходимости опираться на собственные документы по стандартизации.

Кроме ТК 039, [НОЭ](#) активно участвует в работе ТК 144 «Строительные материалы (изделия) и конструкции» и ТК 413 «Методология и метрологическое обеспечение систем экологического управления, мониторинга и контроля».

### Новый экономике – новые кадры

Ещё один блок вопросов, от которых зависит развитие экономики и её энергоэффективность на годы вперёд — кадровое обеспечение. Мы делаем ставку на систематизацию всех процессов в соответствии с законодательством о развитии и оценке квалификаций.

В рамках [НОЭ](#) создан Центр оценки квалификаций (ЦОК), и с сентября 2022 года он уполномочен проводить независимую оценку квалификации «Главный инженер проекта (специалист по организации строительства)» (седьмой уровень квалификации). Эксперты ЦОК [НОЭ](#) прошли обучение в [Национальном агентстве развития квалификаций \(НАРК\)](#) и аттестованы Советом по профессиональным квалификациям в строительстве. Создан учебный класс, оборудованный всем необходимым для проведения экзамена, и эта работа уже началась. За прошедший период ЦОК [НОЭ](#) проведено пять экзаменов, в которых приняли участие 42 человека, из них 28 человек смогли подтвердить заявленную квалификацию.

Также в ЦОК [НОЭ](#) организованы профессиональные экзамены по квалификациям «Специалист по финансово-экономическому сопровождению энергосервисных мероприятий в строительстве» (шестой уровень квалификации) и «Специалист по юридическому сопровождению энергосервисных мероприятий в строительстве» (шестой уровень квалификации). Эти экзамены не менее сложные, что видно по их результатам.

НОЭ также разрабатывает профессиональные стандарты — за последнее время, пройдя все обсуждения и согласительные процедуры, утверждены приказами Минтруда России профессиональные стандарты «Специалист по обеспечению энергосбережения и повышения энергетической эффективности» и «Специалист по инженерной защите окружающей среды». Стандарты занесены в государственный реестр профессиональных стандартов и уже используются вузами и другими образовательными учреждениями для формирования учебных программ.

Мы надеемся, что на базе НОЭ будет создан Совет по профессиональным квалификациям (СПК) в области экологии, ресурсосбережения и повышения энергоэффективности. Эта инициатива на основании документированной заявки уже поддержана.

### Пионерные проекты

Среди передовых проектов нельзя не назвать проект цифровых двойников бюджетных учреждений, запущенный в 2022 году по инициативе Министерства энергетики Московской области. Его основная цель — на основе современных цифровых технологий проанализировать и оптимизировать потребление энергоресурсов в организациях, финансируемых из бюджета. НОЭ выполняет в проекте функцию экспертного сопровождения.

На основе определённых экспертами технических и экономических критериев отобраны объекты, проведены их обследования. Путём оснащения объектов датчиками и контроллерами будет осуществляться сбор достоверных данных об энергопотреблении в зависимости от



Всероссийский форум «Энергоэффективная Россия», проводимый НОЭ с партнёрами на борту комфортабельного теплохода, ежегодно собирает крупнейших экспертов и профессионалов

влияющих факторов, и на этой основе каждое здание получит собственную тематическую модель потребления (цифрового двойника).

Специализированное программное обеспечение на основе искусственного интеллекта (система является разработкой специалистов Фонда «Форсайт») позволит автоматизировать управление инженерным оборудованием и оптимизировать потребление с сохранением нормативных условий по микроклимату при любых погодных условиях. В результате здания получают комфортную среду пребывания, а потребление электроэнергии и тепла будет снижено.

Всего в перечне более 120 учреждений из 27 городских округов Подмосковья, подведомственных Министерству образования, Министерству физической культуры и спорта, Министерству здравоохранения, Министерству культуры Московской области.

### Публичная деятельность

Мы убеждены, что необходимо не только хорошо делать своё дело, но и работать с общественностью, донося важность энергосбережения, его возможности и преимущества.

Ежегодно летом НОЭ с партнёрами (в числе которых в 2022 году НОПРИЗ и РОО «Общественный совет по развитию саморегулирования») проводит на теплоходе Всероссийский форум «Энергоэффективная Россия». В 2022 году в работе форума приняли участие более 146 человек из 63 организаций. Вопросы энергоэффективности в многоквартирных домах, электротранспорта и сопутствующей инфраструктуры, развития профессиональных квалификаций в архитектурно-строительном проектировании, а также деловая игра «Наш город» сделали дни форума полезными для отрасли и приятными для участников.

НОЭ традиционно выступает организатором и соорганизатором множества отраслевых мероприятий в рамках «Российской строительной недели», выставки *Climate World Expo*; выставки «ЭлектроТранс»; форума «Устойчивое развитие» (Санкт-Петербург); Международного конгресса «Энергоэффективность. XXI век. Архитектура. Инженерия. Цифровизация. Экология» и других.

Мы стремимся к информационной открытости и привлечению новых сторонников и партнёров, выступая на мероприятиях, в средствах массовой информации, на отраслевых медийных площадках и каналах.

Уверен, задачи, стоящие перед российской экономикой, не решить без системного повышения энергетической эффективности, а для этого нужна широкая профессиональная консолидация, и НОЭ будет и впредь работать на решение этой задачи. ●

### НОЭ. Краткая справка

НОЭ было создано 21 марта 2011 года как «Национальное объединение саморегулируемых организаций в области энергетического обследования». В 2014 году НОЭ было переименовано в «Национальное объединение организаций в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности».

НОЭ объединяет 30 организаций, включая СПО в области энергетического обследования и другие ассоциации и компании, работающие в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности: производителей приборов учёта и центры мониторинга энергопотребления; энергоаудиторов и их объединения (СПО); производителей оборудования, экспертов, разработчиков ПО в области энергоаудита; энергосервисные и консалтинговые компании; банки, страховые компании, инвесторы; средства массовой информации и интернет-ресурсы; разработчиков и производителей инновационных технологий и материалов; разработчиков и производителей возобновляемых источников энергии.

Основными целями НОЭ являются защита интересов членов Ассоциации, создание условий для предпринимательской деятельности и реализации проектов в области энергосбережения. НОЭ является важной площадкой для инвесторов и заказчиков, а также основным методологическим и консультационным центром в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

# HEAT & ELECTRO MACHINERY

Международная выставка оборудования  
для промышленности и теплоэнерго-  
снабжения гражданских объектов  
и предприятий различных отраслей

**24–26.10.2023**

ЦВК «Экспоцентр», Москва



Итоги выставки 2022 года:

**4 864** целевых посетителя

**120** участников из России, Республики  
Беларусь, Киргизии, Ирана, Китая

**10** отраслевых мероприятий  
деловой программы



Забронируйте стенд на главной  
отраслевой выставке

[machinery-fair.ru](http://machinery-fair.ru)

**GA** GEFERA MEDIA

# Методика и примеры расчёта годового расхода холода на охлаждение и вентиляцию кондиционируе- мых помещений

Для оценки энергоэффективности зданий по «конечной энергии», потребляемой на ОВиК, до последнего времени отсутствовала методика определения годового расхода холода на охлаждение и вентиляцию кондиционируемых помещений. Как определить нагрузку на систему кондиционирования воздуха? Программа расчёта есть, а ожидаемое потребление энергии системой в процессе её эксплуатации — нет.

**Автор:** В.И. ЛИВЧАК, к.т.н., государственный эксперт по проведению экспертизы проекта энергоэффективности зданий

Уточнение величин внутренних теплопоступлений для зданий различного назначения как в отопительный период, так и в период охлаждения, изложенное ранее в журнале СОК [1], позволило разработать такую методику, алгоритм которой представлен в настоящей статье.

## Определение условного охладительного периода для зданий при центральном кондиционировании воздуха

Центральное кондиционирование получило наибольшее распространение в общественных зданиях, для которых характерен периодический режим эксплуатации. Поэтому условный охладительный период, как и при отоплении таких зданий, определяется в зависимости от температуры наружного воздуха в рабочее время и начинается/оканчивается, когда внутренние теплопоступления становятся равными теплопотерям через наружные ограждения и на нагрев наружного воздуха в объёме нормативного воздухообмена для вентиляции, при обеспечении расчётной температуры воздуха в помещениях согласно СП 60.13330.2020 [2] для тёплого периода года.

Температура начала/окончания условного охладительного периода по аналогии с отопительным периодом находится из уравнения теплового баланса здания без учёта теплопоступлений от солнечной радиации, поскольку они имеют не постоянный и однонаправленный характер — в пасмурные дни солнечная радиация весьма незначительная, как и в помещениях северного фасада здания в солнечный день, и должна учитываться дополнительно в зависимости от ориентации отдельных помещений по сторонам света. Следует также иметь в виду, что расчёт энер-

## Температура начала/окончания условного охладительного периода (по аналогии с отопительным) находится из уравнения теплового баланса здания без учёта теплопоступлений от солнечной радиации, поскольку они имеют не постоянный и однонаправленный характер

гии охлаждения выполняется на стадии до выбора решения, какими средствами реализовывать охлаждение — через водяную систему охлаждения или приточную вентиляцию, поэтому в тепловом балансе здания учитываются теплопоступления с приточной вентиляцией, когда температура наружного воздуха в рабочее время выше температуры воздуха в основных помещениях здания, как и теплопоступления через наружные ограждения в этот период, в соответствии с формулой (1) теплового баланса здания из [3].

В периоды превышения наружной температуры над внутренней знак этих составляющих баланса меняется, и они прибавляются к бытовым теплопоступлениям, увеличивая охладительную нагрузку:

$$(K_{\text{тр}} A_{\text{огр.сум}} + 0,28 L_{\text{вент}} \rho_{\text{в}} c_{\text{а}}) \times (t_{\text{в.ох}} - t_{\text{н.ох.при}Q_{\text{ох.зд}}=0}) = q_{\text{вн.ох}} A_{\text{пол}} \quad (1)$$

Отсюда находят температуру начала/окончания охладительного периода:

$$t_{\text{н.ох.при}Q_{\text{ох.зд}}=0} = t_{\text{в.ох}} - q_{\text{вн.ох}} A_{\text{пол}} / (K_{\text{тр}} A_{\text{огр.сум}} + 0,28 L_{\text{вент}} \rho_{\text{в}} c_{\text{а}}), \quad (2)$$

где  $t_{\text{н.ох.при}Q_{\text{ох.зд}}=0}$  — температура наружного воздуха начала/окончания условного охладительного периода, °С;  $t_{\text{в.ох}}$  — расчётная температура внутреннего воздуха помещений для охладительного





периода [°C], принимается согласно [СП 60.13330 \[2\]](#) по верхнему уровню в комфортном диапазоне температур для тёплого периода года 22–25 °C, рекомендуется для районов с континентальным климатом — 24 °C, субтропическим — 25 °C;  $q_{вн.ох}$  — удельная величина внутренних теплопоступлений в помещения в охлаждаемый период [Вт/м<sup>2</sup>], принимается с использованием табл. 1, исходные данные для расчёта удельной величины среднесуточных бытовых (внутренних) тепловыделений за рабочее время в течение отопительного/охлаждающего периода для жилых и общественных зданий различного назначения берутся из [\[1\]](#);  $A_{пол}$  — полезная площадь отапливаемых помещений общественного или производственного здания, за исключением лестничных клеток, технических этажей, пандусов и автостоянок, м<sup>2</sup>;  $K_{тр}$  — приведённый коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции здания, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $A_{огр.сум}$  — сумма площадей всех наружных ограждений отапливаемой оболочки здания, м<sup>2</sup>;  $L_{вент}$  — нормируемое значение количества приточного наружного воздуха, подаваемого в помещения здания [м<sup>3</sup>/ч], принимается по таблице из [\[4\]](#);  $\rho_{в}$  — плотность внутреннего воздуха,  $\rho_{в} = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>;  $c_{а}$  — удельная теплоёмкость воздуха,  $c_{а} = 1,0$  кДж/(кг·°C).

В общем виде формула определения расхода холода на охлаждение и вентиляцию здания записывается как:

$$Q_{ох.зд} = Q_{вн.ох.п} + Q_{огр.ох.п.клим} + Q_{вент.ох.п.клим} + \Delta Q_{огр.инс} + Q_{инс.ох.п} \quad (3)$$

где  $Q_{ох.зд}$  — расхода холода на охлаждение и вентиляцию здания, кВт·ч;  $Q_{вн.ох.п}$  — внутренние теплопоступления от людей, электрических приборов и оборудования, находящихся в кондиционируемых помещениях здания, и от их освещения за условный охлаждаемый период, кВт·ч;  $Q_{огр.ох.п.клим}$  — теплопоступления через наружные ограждающие конструкции здания за климатический охлаждаемый

период [кВт·ч], когда средняя температура наружного воздуха в рабочее время выше расчётной температуры воздуха в помещении;  $Q_{вент.ох.п.клим}$  — теплопоступления с приточной вентиляцией за климатический охлаждаемый период [кВт·ч], когда  $t_{н.ср.клим.ох.п.раб} > t_{в.ох}$ ;  $\Delta Q_{огр.инс}$  — дополнительные теплопоступления за счёт повышения температуры наружной поверхности ограждений из-за облучения их солнцем, кВт·ч;  $Q_{инс.ох.п}$  — теплопоступления от солнечной радиации через светопрозрачные ограждающие конструкции за условный охлаждаемый период, кВт·ч.

Расчёт годового холодопотребления помещениями зданий необходим для определения конечного потребления энергии этим зданием, установления класса энергетической эффективности и для оценки здания, как среды обитания человека, в рейтинговых системах. На сегодняшний день в России — ни в нормативнотехнических документах, ни в специализированной литературе, — не существует методик, результатом которых было бы нахождение искомого значения **годового расхода энергии на охлаждение зданий** (именно годового расхода, а не для выбора производительности охлаждающей установки) путём выполнения последовательных операций с указанием алгоритма их действий и приведения обоснованных значений исходных данных.

**В ISO 13790:2008 (E) рекомендовано «при расчёте энергопотребления зданием за длительный период (обычно, месяц или сезон) использовать метод квазистационарного состояния, который позволяет учесть динамические эффекты за счёт выведенного эмпирическим путём показателя использования притоков или потерь»**

На данную тематику были найдены статьи [\[5, 6\]](#), но в работе [\[5\]](#) при определении потребности холода для кондиционирования учитывается только разность энтальпий наружного воздуха и воздуха, выходящего из форсунной камеры. Внутренние теплопоступления в помещениях и теплопоступления за счёт превышения температуры наружного воздуха над внутренним во внимание не принимаются. Пример сделан только на зимний режим, а необходимые удельные годовые показатели отсутствуют.

В статье [\[6\]](#) внимание сконцентрировано на изучении процессов нестационарности теплового баланса помещений здания и предполагается определять граничные условия температур начала периода охлаждения с учётом почасового колебания температуры наружного воздуха и интенсивности солнечной радиации. Но, как уже упоминалось, теплопоступления от солнечной радиации, поскольку они имеют не постоянный и однонаправленный характер, не должны учитываться при определении начала/окончания периода охлаждения, как они не учитываются при определении мощности системы отопления. Кроме того, в работе [\[6\]](#) не приводятся значения удельного годового расхода холода, необходимого для охлаждения жилого и офисного помещений.

По поводу учёта процессов нестационарности в [ISO 13790:2008 \(E\) \[7\]](#), на основании которого выполнялись расчёты (с оглядкой на наши национальные особенности), в разделах 5.3–5.4 этого документа рекомендовано «при расчёте энергопотребления зданием за длительный период (обычно, месяц или сезон) использовать метод квазистационарного состояния, который позволяет учесть динамические эффекты за счёт выведенного эмпирическим путём показателя использования притоков или потерь». В наших расчётах из-за отсутствия достаточного практического опыта этот коэффициент пока принят равным 1,0. Рассчитанная по данной методике величина удельного годового расхода холода будет максимальной величиной, поскольку её уточнение с использованием динамических характеристик только понизит это значение. Сведения о климатических данных района строительства следует принимать в соответствии с [СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» \[8\]](#), в наших расчётах для условий г. Москва они приняты по таблице из [МГСН 4.19–2005 \[9\]](#), которая приводится в табл. В.13 Приложения В обновлённой редакции стандарта [СТО НОП 2.1–2014 \[10\]](#) (в [МГСН 2.01–99](#) эта таблица ошибочна).



**Определение годового расхода холода на охлаждение офисов**

**а) Уточнение метеорологических параметров периода охлаждения**

Поскольку, как показано в формуле (1), после установления удельной величины внутренних теплопоступлений, в зависимости от плотности заполнения кондиционируемых помещений людьми, для определения годового расхода холода на охлаждение и вентиляцию необходимо знать теплотехнические и геометрические параметры объекта исследования, в качестве примера возьмём четырёхэтажный офис полезной площадью  $A_{пол} = 1243 \text{ м}^2$ , строящийся в московском регионе, с теплозащитой в двух вариантах: с базовым уровнем сопротивления теплопередаче наружных ограждений (по табл. 3 [СП 50.13330.2012 \[11\]](#)) и соответствующим требованиям первого этапа повышения энергетической эффективности зданий (на 15% превышающем базовый уровень, за исключением окон, где сопротивление теплопередаче принято по величинам, достигнутым промышленностью).

Количество работников (при  $10 \text{ м}^2$  полезной площади помещений на одного работника) составляет:

$$m = 1243/10 = 124 \text{ человек.}$$

Подробный расчёт выполнен в обновлённой редакции стандарта [СТО НОП 2.1-2014 «Требования к содержанию и расчёту показателей энергетического паспорта проекта жилого и общественного здания» \[10\]](#).

Сумма площадей всех наружных ограждений отопляемой оболочки здания  $A_{огр.сум} = 2146 \text{ м}^2$ ; в том числе: площадь стен —  $1072 \text{ м}^2$ , их приведённое сопротивление теплопередаче —  $2,68/3,08 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  (здесь в числителе — для дома с базовым сопротивлением теплопередаче наруж-

ных ограждений, в знаменателе — соответствующая 15% превышению базового уровня); площадь окон —  $235 \text{ м}^2$  ( $0,54/0,80 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ); площадь покрытия —  $415 \text{ м}^2$  ( $3,58/4,12 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ); площадь цокольного перекрытия —  $415 \text{ м}^2$  ( $3,03/3,48 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ); площадь наружных дверей —  $9 \text{ м}^2$  ( $R_{дв}^p = 0,8 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ). Отапливаемый объём здания  $V_{от} = 5900 \text{ м}^3$ , компактность здания  $A_{огр.сум}/V_{от} = 0,36$ , отношение площади светопрозрачных ограждений к площади фасадов —  $0,18$ .

Приведённый трансмиссионный коэффициент теплопередачи здания равен  $K_{тр}^{пр} = 0,514/0,407 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

Находим температуру начала/окончания условного охладительного периода  $t_{н.ох.при Q_{ох.оф}=0}$  из формулы (2) для двух вариантов теплозащиты здания: базовой, характеризуемой приведённым трансмиссионным коэффициентом теплопередачи здания  $K_{тр,баз}^{пр} = 0,514 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , и повышенной на 15% —  $K_{тр,пов}^{пр} = 0,407 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , при условии поддержания в помещениях температуры внутреннего воздуха на заданном оптимальном для тёплого периода года уровне  $t_{в.ох} = 24 \text{ °C}$  и вентиляционного воздухообмена исходя из минимального уровня  $40 \text{ м}^3/\text{ч}$  наружного воздуха на одного работающего  $L_{вент} = 40 \times 124 = 4960 \text{ м}^3/\text{ч}$ :

$$\begin{aligned} t_{н.ох.при Q_{ох.оф}=0} &= t_{в.ох} - q_{вн.ох} A_{пол} / \\ & (K_{тр}^{пр} A_{огр.сум} + 0,28 L_{вент} \rho_{в} c_a); \\ t_{н.ох.при Q_{ох.оф}=0}^{баз} &= 24 - 19,3 \times 1243 / \\ & (0,514 \times 2146 + 0,28 \times 4960 \times 1,2 \times 1,0) = \\ & = 15,3 \text{ °C}; \\ t_{н.ох.при Q_{ох.оф}=0}^{пов} &= 24 - 19,3 \times 1243 / \\ & (0,407 \times 2146 + 0,28 \times 4960 \times 1,2 \times 1,0) = \\ & = 14,6 \text{ °C}, \end{aligned}$$

где  $q_{вн.ох} = 19,3 \text{ Вт}/\text{м}^2$  — внутренние удельные теплопоступления в летний период, интерполированные в табл. 1 на

принятое в примере заполнение офиса исходя из  $10 \text{ м}^2$  на одного человека, пересчитанные по методике, изложенной в [1]:

$$\begin{aligned} q_{вн.ох.оф.10} &= (Q_p/A_{пол}) \tau_{мет}/\tau + \\ & + K q_E (q_{E.год} f_E) 10^3 / (\tau 365) = \\ & = (80/10) \times 6/6 + 0,877 \times (31,3 \times 0,9) \times \\ & \times 10^3 / (6 \times 365) = 19,3 \text{ Вт}/\text{м}^2. \end{aligned}$$

**Примечание:** Температура начала/окончания охладительного периода — это условная величина для определения годовой потребности в холоде на кондиционирование воздуха при установлении нормируемого значения энергопотребления зданиями. В действительности включение охлаждения будет происходить автоматически по температуре воздуха в кондиционируемом помещении, возможно, и при более низких наружных температурах, например, в солнечные дни, но при полном использовании «фрикулинга», описанного в [10]. В отличие от отопительного периода, где задержка с его началом приводит к значительному нарушению комфорта и массовым жалобам, опоздание с началом периода охлаждения таких жалоб не вызывает, а избыток теплоты может быть частично снят за счёт проветривания путём открывания окон.

Длительность  $z_{ох.п}$  и средняя температура наружного воздуха условного охладительного периода  $t_{н.ср.ох.п.раб}$  находятся из графика времени стояния наружных температур для рассматриваемого региона и пересчёта показателей средней температуры каждого смежного месяца, в котором есть дни с температурой выше температуры начала/окончания охладительного периода, в средние температуры наружного воздуха в течение **рабочего времени** по нижеприведённой методике.

При определении  $z_{ох.п.раб}$  следует учитывать, что в центральном регионе РФ среднемесячные температуры наружного воздуха в самые жаркие летние месяцы не превышают  $18,7 \text{ °C}$ , что свидетельствует о довольно низких ночных температурах, не требующих охлаждения, тем более для офисных зданий это нерабочее время, поэтому целесообразно вычислить длительность стояния средних температур наружного воздуха в течение **рабочего времени** согласно [СП 131.13330 \[8\]](#), применительно к отопительному периоду, по следующей зависимости:

$$t_{оп.раб} = t_{оп} + \Delta t,$$

где применительно к охладительному периоду:  $t_{оп.раб} = t_{н.ср.ох.п.раб}$  — средняя наружная температура охладительного периода **для рабочего времени**;  $t_{оп} = t_{н.ох.п}$  — средняя суточная наружная температура охладительного периода для данного региона;  $\Delta t$  — разность между значениями

средней температуры охлаждающего периода для суток в целом и для части суток. Она зависит от длительности рабочего времени объекта в пределах суток и средней амплитуды суточных колебаний (отклонение от среднесуточного значения) температуры наружного воздуха  $A_{t_n}$  [°C], принимаемой по имеющимся климатическим данным согласно СП 131.13330 [8] в зависимости от района строительства. В частном случае при начале рабочего дня в 09:00 и окончании в 18:00:  $\Delta t = 0,72 A_{t_n}$ .

Тогда средняя температура наружного воздуха в летние и примыкающие к ним месяцы в **рабочее время**, используя климатические данные города Москвы о среднесуточной температуре наружного воздуха каждого месяца и принятой температуре  $t_{n,ox,при Q_{ох,оф}=0} = 15$  °C, будет:

- апрель  $6,4 + 0,72 \times 5,4 = 10,3$  °C;
- май  $13,0 + 0,72 \times 9,6 = 19,9$  °C;
- июнь  $16,9 + 0,72 \times 9,6 = 23,8$  °C;
- июль  $18,7 + 0,72 \times 9,6 = 25,6$  °C;
- август  $16,8 + 0,72 \times 9,6 = 23,7$  °C;
- сентябрь  $11,1 + 0,72 \times 9,6 = 18,0$  °C;
- октябрь  $5,2 + 0,72 \times 5,4 = 9,1$  °C.

Апрель и октябрь — это месяцы отопительного периода, и в них средняя амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха составляет  $A_{t_n} = 5,4$  °C, тогда как для охлаждающего периода  $A_{t_n} = 9,6$  °C (из СП 131.13330 [8]).

Результаты сложения — это средние температуры наружного воздуха в **рабочее время** в середине месяца; 1 мая и 30 сентября средняя температура, соответственно, будет:  $(19,9 + 10,3)/2 = 15,1$  °C и  $(18,0 + 9,1)/2 = 13,6$  °C, а средняя температура наружного воздуха в **рабочее время** (15 °C) будет 25 сентября. Тогда средняя температура с 1 по 25 сентября будет:  $[1830 - (15 + 13,6)/25]/25 = 18,74$  °C.

Очевидно, что в условный охлаждательный период по числу дней со средней температурой наружного воздуха выше 15 °C, когда внутренние теплопоступления



будут превышать теплопотери, вошли  $z_{ох,п} = 148$  дня с 1 мая по 25 сентября.

Средняя наружная температура этого охлаждающего периода для **рабочего времени находится как среднеарифметическое значение**:

$$t_{n,cr,ox,п,раб} = (31 \times 19,9 + 30 \times 23,8 + 31 \times 25,6 + 31 \times 23,7 + 25 \times 18,74) / 148 = 22,5$$
 °C.

**б) Определение внутренних теплопоступлений за охлаждательный период**

При определении потребности в охлаждении внутренние теплопоступления за условный охлаждательный период  $Q_{вн,ох,п}$  [кВт·ч], принимают с учётом того, что при температурах наружного воздуха ниже расчётной внутренней температуры  $t_{в,ох} = 24$  °C они будут частично компенсировать теплопотери через наружные ограждения. Поэтому они должны быть снижены пропорционально отношению разности внутренней температуры и средней наружной за охлаждательный период  $t_{n,cr,ox,п,раб}$  к разности  $(t_{в,ох} - t_{n,ox,при Q_{ох,оф}=0})$ :

$$Q_{вн,ох,п} = q_{вн,ох,оф} A_{пол} z_{ох,п} \tau 10^{-3} \times [1 - (t_{в,ох} - t_{n,cr,ox,п,раб}) / (t_{в,ох} - t_{n,ox,при Q_{ох,оф}=0})]; \quad (4)$$

$$Q_{вн,ох,п} = 19,3 \times 1243 \times 148 \times 6 \times 10^{-3} \times [1 - (24 - 22,5) / (24 - 15)] = 17750 \text{ кВт·ч.}$$

где  $q_{вн,ох,оф}$  — удельная величина внутренних теплопоступлений за охлаждательный период [Вт/м<sup>2</sup>] — то же, что в фор-

мулах (1) и (2), находится интерполяцией из табл. 1 в [1];  $A_{пол}$  — полезная площадь помещений здания, м<sup>2</sup>;  $z_{ох,п}$  — длительность охлаждающего периода,  $z_{ох,п} = 148$  суток;  $\tau$  — рабочее время использования помещений в сутки (среднемесячное) — для офиса  $\tau = 6$  ч, находится из табл. 1 в [1];  $t_{в,ох}$  и  $t_{n,ox,при Q_{ох,оф}=0}$  — то же, что в формуле (2);  $t_{n,cr,ox,п,раб}$  — средняя температура наружного воздуха рабочего времени суток за охлаждательный период,  $t_{n,cr,ox,п,раб} = 22,5$  °C.

**в) Определение величин внешних теплопоступлений за охлаждательный период**

Это теплопоступления в период стояния температур наружного воздуха выше расчётной внутренней температуры  $t_{в,ох} = 24$  °C через наружные ограждения и с наружным приточным воздухом. В число дней, в которые будут иметь место эти теплопоступления, помимо 31 дня июля, войдут 12 дней июня со средней наружной температурой в рабочее время  $t_{n,cr,раб,июнь} = 24,35$  °C и десять дней августа с  $t_{n,cr,раб,авг} = 24,3$  °C, всего длительность климатического охлаждающего периода будет  $z_{клим,ох,п} = 53$  дня.

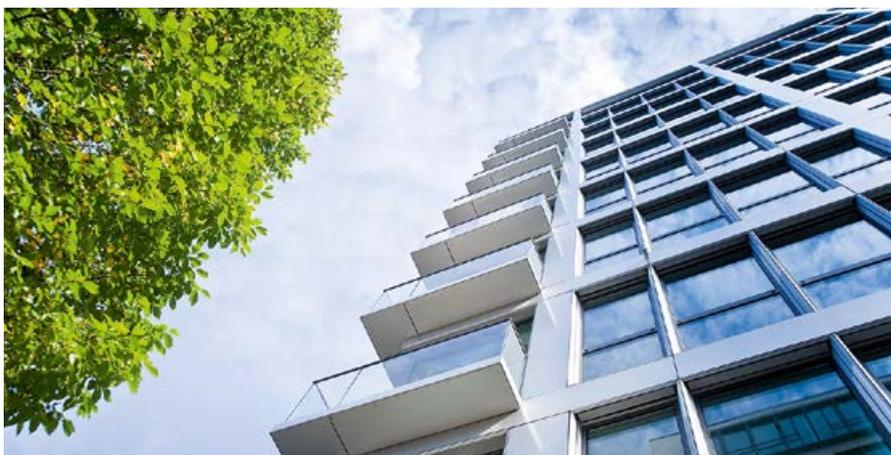
**Внешние теплопоступления за охлаждательный период — это теплопоступления в период стояния температур наружного воздуха выше расчётной внутренней температуры (24 °C) через наружные ограждения и с наружным приточным воздухом**

Поэтому количество градусо-суток климатического охлаждающего периода  $GCOxП_{клим}$  [°C·сут], в течение которых температура наружного воздуха **рабочего времени суток** превышает расчётную температуру воздуха в помещении, определяют по формуле:

$$GCOxП_{клим} = \sum [(t_{n,cr,клим,ох,п,раб,i} - t_{в,ох}) z_{клим,ох,п,i}], \quad (5)$$

где  $t_{n,cr,клим,ох,п,раб}$  — средняя температура наружного воздуха рабочего времени суток, превышающая расчётную температуру воздуха в помещении, за каждый календарный месяц охлаждающего периода;  $t_{в,ох}$  — расчётная внутренняя температура воздуха в периоде охлаждения, °C;  $z_{клим,ох,п}$  — количество суток в каждом месяце охлаждающего периода, когда  $(t_{n,cr,клим,ох,п,раб} - t_{в,ох}) > 0$ , сут.:

$$GCOxП_{клим} = (24,35 - 24) \times 12 + (25,6 - 24) \times 31 + (24,3 - 24) \times 10 = 57$$
 °C·сут.



При определении теплоступлений от превышения  $t_{н.ср.клим.ок.п.раб} > t_{в.ок}$  следует иметь в виду, что из этих суток принимается во внимание только рабочее время использования помещения в день (среднемесячное), обозначенное в табл. 1 в [1] символом «Т».

Теплоступления через наружные ограждающие конструкции здания за климатический охладительный период  $Q_{огр.ок.п.клим}$  [кВт·ч] определяют по формуле (6) для двух вариантов теплозащиты здания: базовый, характеризуемый величиной приведённого трансмиссионного коэффициента теплопередачи здания  $K_{тр.баз}^{пр} = 0,514 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , и повышенный на 15% —  $K_{тр.пов}^{пр} = 0,407 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ :

$$Q_{огр.ок.п.клим} = K_{тр}^{пр} A_{огр.сум} GCOxП_{клим} \tau 10^{-3}; \quad (6)$$

$$Q_{огр.баз.ок.п.клим} = 0,514 \times 2147 \times 57 \times 6 \times 10^{-3} = 377 \text{ кВт·ч};$$

$$Q_{огр.пов.ок.п.клим} = 0,407 \times 2147 \times 57 \times 6 \times 10^{-3} = 299 \text{ кВт·ч},$$

где  $K_{тр}^{пр}$  и  $A_{огр.сум}$  — то же, что в формуле (1);  $GCOxП_{клим}$  — то же, что в формуле (5);  $\tau$  — то же, что в формуле (4).

Теплоступления с приточной вентиляцией за климатический охладительный период  $Q_{вент.ок.п.клим}$  [кВт·ч], когда температура наружного воздуха выше расчётной температуры воздуха в помещении, определяют по формуле (7):

$$Q_{вент.ок.п.клим} = 0,28 L_{вент} \rho_{в} c_a GCOxП_{клим} \tau 10^{-3}; \quad (7)$$

$$Q_{вент.ок.п.клим} = 0,28 \times 4960 \times 1,2 \times 1,0 \times 57 \times 6 \times 10^{-3} = 570 \text{ кВт·ч},$$

где  $L_{вент}$ ,  $\rho_{в}$  и  $c_a$  — то же, что в формуле (1);  $GCOxП_{клим}$  — то же, что в формуле (5);  $\tau$  — то же, что в формуле (4).

Итого внутренние теплоступления и внешние через наружные ограждения и с приточным воздухом в периоды превышения температуры наружного воздуха над расчётной внутренней составят:

$$Q_{вн.ок.п} + Q_{огр.ок.п.клим} + Q_{вент.ок.п.клим} \text{ или:}$$

□ при базовом варианте теплозащиты  $17750 + 377 + 570 = 18120 \text{ кВт·ч}$ ,

□ при повышенном варианте теплозащиты  $17750 + 299 + 570 = 18040 \text{ кВт·ч}$ .

Разница составляет

$$(18120 - 18040) \times 100 / 18120 = 0,44\%,$$

причём это ещё без теплоступлений от солнечной радиации. Это подтверждает, что повышение энергоэффективности зданий, несмотря на мнение некоторых специалистов, несколько не влияет на затраты для его охлаждения.

Теплоступления от солнечной радиации через светопрозрачные огражда-

ющие конструкции за охладительный период  $Q_{инс.ок.п}$  [кВт·ч], которые условно устраняются локальными системами охлаждения, для всех фасадов зданий, ориентированных по разным направлениям, определяют по формуле:

$$Q_{инс.ок.п} = \left[ \sum (\eta_{ок.и} \tau_{ок.и} k_{ок.и} A_{ок.и} I_i) + \sum (\eta_{ф.и} \tau_{ф.и} k_{ф.и} A_{ф.и} I_{гор}) \right] z_{раб} / z_{ох.п}, \quad (8)$$

где  $\tau_{ок}$  и  $\tau_{ф}$ ,  $k_{ок}$  и  $k_{ф}$  — то же, что в формуле (19) стандарта **СТО НОП 2.1-2014** [10];  $A_{ок.и}$  и  $A_{ф.и}$ ,  $I_i$  и  $I_{гор}$  — то же, что в формуле (19),  $I_i$ ,  $I_{гор}$  принимают по **СП 131.13330** [8];  $\eta$  — коэффициент относительного проникновения солнечной радиации через солнцезащитные устройства (при отсутствии данных допускается принимать по табл. 1);  $z_{раб}$  — число рабочих дней в условном охладительном периоде [сут.] (принимается, что теплоступления от солнечной радиации, имеющие место и в нерабочее время рабочих суток, также компенсируются энергией на охлаждение);  $z_{ох.п}$  — то же, что в формуле (4).

При помесечном расчёте интенсивность суммарной солнечной радиации принимают для каждого месяца поочередно.

**Примечание:** Интенсивность солнечной радиации, падающей на мансардные окна и световые фонари, расположенные под углом к горизонту, следует рассчитывать в зависимости от угла наклона пропорционально между интенсивностью на горизонтальную и соответствующую вертикальную поверхности.

Дополнительные теплоступления за счёт повышения температуры наружной поверхности ограждений из-за облучения их солнцем. Это эквивалентное действие солнечной радиации среднее за сутки повышение температуры наружной

табл. 1 Коэффициент относительного проникания радиации через солнцезащитные устройства

Солнцезащитные устройства	Коэффициент относительного проникания радиации через солнцезащитные устройства $\eta$
<b>Наружные устройства</b>	
Штора или маркиза из светлой ткани	0,15
Штора или маркиза из темной ткани	0,20
Ставни-жалюзи с деревянными пластинами	0,10/0,15
Шторы-жалюзи с металлическими пластинами	0,15/0,20
<b>Межстёкольные (непрветриваемые)</b>	
Шторы-жалюзи с металлическими пластинами	0,30/0,35
Штора из светлой ткани	0,25
Штора из темной ткани	0,40
<b>Внутренние устройства</b>	
Шторы-жалюзи с металлическими пластинами	0,60/0,70
Штора из светлой ткани	0,40
Штора из темной ткани	0,60

Примечания: 1. Коэффициенты даны дробью: в числителе — для солнцезащитных устройств с пластинами под углом 45°, в знаменателе — под углом 90°. 2. Значения коэффициентов относительного проникания радиации межстёкольных солнцезащитных устройств с прветриваемым межстёкольным пространством принимают в два раза меньше.

поверхности ограждений  $\Delta t_d$  [°C] находится в [12] по следующей формуле:

$$\Delta t_d = p q_{инс} / \alpha_n, \quad (9)$$

где  $p$  — коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью ограждения, зависит от материала конструкции ограждения из табл. 1.1 в [12], например, для рубероида покрытия  $p = 0,88$ ; для керамогранита стен  $p = 0,65$ ; для стекла  $p = 0,04$ ;  $q_{инс}$  — интенсивность падающей на ограждения солнечной радиации — среднесуточная при действительных условиях облачности за три летних месяца,  $\text{Вт}/\text{м}^2$  [например, для условий Москвы (из табл. В.13 Приложения В в [10]) суммарная солнечная радиация за июнь — август составляет:

□ на горизонтальную поверхность —  $173 + 163 + 132 = 468 \text{ кВт·ч}/\text{м}^2$ ;

□ на вертикальную северной ориентации —  $42 + 42 + 35 = 119 \text{ кВт·ч}/\text{м}^2$ ;

□ на вертикальную восточной/западной ориентации —  $86 + 82 + 68 = 236 \text{ кВт·ч}/\text{м}^2$ ;

□ на вертикальную южной ориентации —  $81 + 80 + 81 = 242 \text{ кВт·ч}/\text{м}^2$ ;

а средняя величина солнечной радиации за  $(30 + 31 + 31) \times 24 = 2208$  часов летнего периода составит:

□  $468 \times 10^3 / 2208 = 212 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ;

□  $119 \times 10^3 / 2208 = 54 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ;

□  $236 \times 10^3 / 2208 = 107 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ;

□ и  $242 \times 10^3 / 2208 = 110 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ;

$\alpha_n$  — коэффициент теплообмена на наружной поверхности ограждения [ $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ], в летний период определяемый по формуле из **СП 50.13330** [11]:

$$\alpha_n = 1,16(5 + 10 \nu^{0,5}) = 1,16 \times (5 + 10 \times 1,0^{0,5}) = 17,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}),$$

где  $\nu$  — минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, принимаемая по **СП 131.13330** [8], но не менее 1 м/с.

Решение приведённого выше уравнения (9) показывает, что среднесуточное повышение температуры на внешней поверхности покрытия здания за летний период составляет:

$$\Delta t_{\text{д.покр}} = p q_{\text{инс}} / \alpha_{\text{н}} = 0,88 \times 212 / 17,4 = 10,7^\circ\text{C};$$

- то же стен северной ориентации:  $\Delta t_{\text{д.ст.сев}} = 0,65 \times 54 / 17,4 = 2,0^\circ\text{C};$
- то же стен ориентации восток/запад:  $\Delta t_{\text{д.ст.в/з}} = 0,65 \times 107 / 17,4 = 4,0^\circ\text{C};$
- то же стен южной ориентации:  $\Delta t_{\text{д.ст.юг}} = 0,65 \times 110 / 17,4 = 4,1^\circ\text{C};$
- то же окон северной ориентации:  $\Delta t_{\text{д.ок.сев}} = 0,04 \times 54 / 17,4 = 0,12^\circ\text{C};$
- то же окон ориентации восток/запад:  $\Delta t_{\text{д.ок.в/з}} = 0,04 \times 107 / 17,4 = 0,24^\circ\text{C};$
- то же окон южной ориентации:  $\Delta t_{\text{д.ок.юг}} = 0,04 \times 110 / 17,4 = 0,25^\circ\text{C}.$

Очевидно, что дополнительными теплопоступлениями через окна из-за облучения их солнцем за малостью повышения температуры можно пренебречь, а теплопоступления через покрытие площадью  $A_{\text{покр}} = 415 \text{ м}^2$  (приведённое сопротивление теплопередаче  $R_{\text{покр}}^{\text{п}} = 4,12 \text{ м}^2 \cdot \text{C}/\text{Вт}$ ) и стены ( $R_{\text{ст}}^{\text{п}} = 3,08 \text{ м}^2 \cdot \text{C}/\text{Вт}$ ), ориентированные на север и юг площадью по  $402 \text{ м}^2$ , восток и запад —  $134 \text{ м}^2$ , с учётом рабочего времени использования в день (см. табл. 1 [1])  $\tau = 6 \text{ ч}$  составят:

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\text{покр}} &= \Delta t_{\text{д.покр}} (A_{\text{покр}} / R_{\text{покр}}^{\text{п}}) \times \\ &\times (30 + 31 + 31) \tau / 10^3 = 10,7 \times (415 / 4,12) \times \\ &\times (30 + 31 + 31) \times 6 / 10^3 = 595 \text{ кВт}\cdot\text{ч}; \\ \Delta Q_{\text{ст.сев}} &= 2,0 \times (402 / 3,08) \times \\ &\times (30 + 31 + 31) \times 6 / 10^3 = 144 \text{ кВт}\cdot\text{ч}; \\ \Delta Q_{\text{ст.(в+з)}} &= 4,0 \times (134 / 3,08) \times \\ &\times (30 + 31 + 31) \times 6 \times 2 / 10^3 = 192 \text{ кВт}\cdot\text{ч}; \\ \Delta Q_{\text{ст.юг}} &= 4,1 \times (402 / 3,08) \times \\ &\times 92 \times 6 / 10^3 = 295 \text{ кВт}\cdot\text{ч}. \end{aligned}$$

Всего дополнительные теплопоступления от инсоляции через покрытие и стены:

$$\Delta Q_{\text{покр+ст}} = 595 + 144 + 192 + 295 = 1226 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Итого все теплопоступления в охлаждаемый период, за исключением солнечной радиации, поступающей непосредственно через светопрозрачные проёмы, составят величину:

$$Q_{\text{ох.п.безинс}} = 17750 + 377 + 570 + 1226 = 19350 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

**Количество теплопритоков с солнечной радиацией за охлаждаемый период**  $Q_{\text{инс.ох.п}}$  [кВт·ч], поступающих через светопрозрачные проёмы для всех фасадов зданий, ориентированных по разным направлениям, следует определять по формуле (19) раздела 8 в [10] с использованием климатических данных региона.

Для рассматриваемого примера с площадью оконных проёмов, ориентированных на север, —  $80 \text{ м}^2$ , восток —  $35 \text{ м}^2$ , юг —  $85 \text{ м}^2$ , запад —  $35 \text{ м}^2$ , и средней интенсивностью солнечной радиации при действительных условиях облачности, характерной для московского региона (из табл. В.13 Приложения В в [10]), за май — сентябрь плюс 13 дней апреля и семь дней октября количество теплопритоков будет, соответственно:  $183 + 17, 359 + 27, 391 + 39$  и  $359 + 27 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ , а количество теплопоступлений с солнечной радиацией, с учётом  $z_{\text{раб}} = 123$  рабочих дней (при пятидневной рабочей неделе) в  $173^*$  днях тёплого периода года и применения окон с эмиссионным покрытием стекла ( $\tau_{\text{ок}} = 0,8$ ;  $k_{\text{ок}} = 0,54$ ) и без солнцезащитных устройств, составит:

$$Q_{\text{инс.ох.п}} = [(183 + 17) \times 80 + (359 + 27) \times 35 + (391 + 39) \times 85 + (359 + 27) \times 35] \times 0,8 \times 0,54 \times 123 / 173 = 24440 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$



**Годовые затраты холода на охлаждение помещений здания офиса будут:**

$$Q_{\text{ох.п}} = Q_{\text{ох.п.безинс}} + Q_{\text{инс.ох.п}} = 19350 + 24440 = 43790 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

а удельные годовые затраты холода на охлаждение на  $1 \text{ м}^2$  полезной площади помещений ( $A_{\text{пол}} = 1243 \text{ м}^2$ ) составят:

$$q_{\text{ох.п.оф}} = 43790 / 1243 = 35,2 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2.$$

Приведённая методика расчёта начала и длительности охлаждающего периода для общественных зданий справедлива и для жилых домов. С учётом полученных в табл. 1 [1] удельных величин внутренних теплопоступлений и заданной интенсивности солнечной радиации при действительных условиях облачности, она позволяет оценить годовую потреб-

ность зданий в холоде, чтобы определить суммарные удельные годовые затраты энергии на них и установить класс энергетической эффективности здания.

**Определение годового расхода холода на охлаждение многоквартирных домов**  
**а) Уточнение метеорологических параметров периода охлаждения**

После установления удельной величины внутренних теплопоступлений, в зависимости от плотности заселения квартир, для определения годового расхода холода на охлаждение и вентиляцию необходимо знать теплотехнические и геометрические параметры объекта исследования на примере двух квартир широтной ориентации для условий города Москвы: с  $20 \text{ м}^2$  общей площади квартир на человека ( $A_{\text{кв-1}} = 60 \text{ м}^2$ ;  $A_{\text{ж-1}} = 33 \text{ м}^2$ ;  $A_{\text{ф-1}} = 27 \text{ м}^2$ ;  $A_{\text{ок-1}} = 9,3 \text{ м}^2$ ) и  $40 \text{ м}^2$  на человека ( $A_{\text{кв-2}} = 120 \text{ м}^2$ ;  $A_{\text{ж-2}} = 66 \text{ м}^2$ ;

$A_{\text{ф-2}} = 54 \text{ м}^2$ ;  $A_{\text{ок-2}} = 16,5 \text{ м}^2$ ). Приведённое сопротивление теплопередаче стен одинаковое для обеих квартир  $R_{\text{ст}} = 3,6 \text{ м}^2 \cdot \text{C}/\text{Вт}$ , окон —  $R_{\text{ок}} = 0,8 \text{ м}^2 \cdot \text{C}/\text{Вт}$ . Нормативный воздухообмен в первой квартире принимается исходя из  $30 \text{ м}^3/\text{ч}$  на человека:  $30 \times 3 = 90 \text{ м}^3/\text{ч}$ , второй — из  $0,35$  обмена в час от объёма помещений квартиры:  $0,35 \times 120 \times 2,7 = 113,4 \text{ м}^3/\text{ч}$  (из  $30 \text{ м}^3/\text{ч}$  на человека оказалось меньше —  $90 \text{ м}^3/\text{ч}$ ).

Удельные теплопотери  $q_{(\text{огр+вент})}$  [Вт/°C] через наружные ограждения и с вентиляционным воздухообменом, отнесённые к  $1^\circ\text{C}$ , из решения части формулы (1):

$$q_{(\text{огр+вент})} = (A_{\text{ф}} - A_{\text{ок}}) / R_{\text{ст}} + A_{\text{ок}} / R_{\text{ок}} + 0,28 L_{\text{вент}} \rho_{\text{в}} c_{\text{а}}, \quad (1a)$$

тогда для двух вариантов заселения квартир удельные теплопотери составят:

$$\begin{aligned} q_{(\text{огр+вент})\text{ж}20} &= (27 - 9,3) / 3,6 + 9,3 / 0,8 + \\ &+ 0,28 \times 90 \times 1,2 \times 1,0 = 46,8 \text{ Вт}/^\circ\text{C}, \\ q_{(\text{огр+вент})\text{ж}40} &= (54 - 16,5) / 3,6 + 16,5 / 0,8 + \\ &+ 0,28 \times 113,4 \times 1,2 \times 1,0 = 69,15 \text{ Вт}/^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

\* Период учёта действия солнечной радиации при определении количества теплопритоков для оценки затрат холода на охлаждение помещений расширен до 173 суток по сравнению с длительностью условного охлаждающего периода при определении внутренних теплопритоков  $z_{\text{ох.п}} = 148$  суток, потому что притоки от солнечной радиации выше внутренних теплопритоков.

Как и в предыдущем примере общественного здания, для жилого дома температура наружного воздуха начала/окончания охладительного периода соответствует такой величине  $t_{н.ок.при Q_{ок.ж}=0}$ , при которой теплотери через наружные ограждения вместе с нагревом наружного воздуха для вентиляции до внутренней расчётной температуры для охладительного периода  $t_{в.ок}$  будут равны внутренним теплотепоступлениям этого периода. По формуле (2а) эта температура равна:

$$\begin{aligned} t_{н.ок.при Q_{ок.ж}=0} &= t_{в.ок} - \\ &- q_{вн.ок} A_{ж} / q_{(огр+вент)}; \end{aligned} \quad (2a)$$

$$\begin{aligned} t_{н.ок.при Q_{ок.ж}=0 при 20} &= 24 - 14,5 \times 33 / 46,8 = \\ &= 24 - 10,2 = 13,8^\circ\text{C}; \\ t_{н.ок.при Q_{ок.ж}=0 при 40} &= 24 - 8,8 \times 66 / 69,15 = \\ &= 24 - 8,4 = 15,6^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Поскольку доля внутренних теплопоступлений по отношению к теплотепотерям при заселённости в 20 м<sup>2</sup> на человека



выше, чем при заселённости в 40 м<sup>2</sup> на человека (10,2 > 8,4), начало охладительного периода наступает раньше в домах с более плотной заселённостью. Но, с другой стороны, такие дома — муниципальные, а дома с меньшей плотностью заселения, как правило, коммерческие, поэтому их застройщик располагает большими инвестициями для реализации систем кондиционирования воздуха в таких домах. Поэтому длительность охладительного периода будем оценивать для домов с заселённостью в 40 м<sup>2</sup> на человека и для периода, начинающегося с наружной температуры  $t_{н.ок.при Q_{ок.ж}=0} = 15^\circ\text{C}$ .

Как сказано выше, в центральном регионе России, где расположена Москва, среднемесячные температуры наружного воздуха в самые жаркие летние месяцы не превышают 18,7°C, что свидетельствует о довольно низких ночных температурах, не требующих охлаждения, поэтому целесообразно, как и при расчёте офисных

зданий, вычислять длительность стояния средних температур наружного воздуха в течение дневного времени стояния наиболее высоких температур наружного воздуха, соответствующих и максимальным значениям солнечной радиации с 08:00 до 17:00.

Тогда из предыдущего примера расчёта офисного здания можно принять следующие метеорологические параметры: условный охладительный период по числу дней со средней температурой наружного воздуха **в рабочее время** выше 15°C, когда внутренние теплопоступления будут превышать теплотери, остаётся  $z_{ок.п} = 148$  дня с 1 мая по 25 сентября. Средняя наружная температура этого охладительного периода находится как среднее арифметическое значение:

$$t_{н.ср.ок.п} = [31 \times 19,9 + 30 \times 23,8 + 31 \times 25,6 + 31 \times 23,7 + 25 \times 18,74] / 148 = 22,5^\circ\text{C}.$$

### б) Определение внутренних теплопоступлений за охладительный период

При определении потребности в охлаждении внутренние теплопоступления за условный охладительный период  $Q_{вн.ок.п}$  [кВт·ч] принимаются с учётом того, что при температурах наружного воздуха ниже расчётной внутренней температуры  $t_{в.ок} = 24^\circ\text{C}$  они будут частично компенсировать теплотери через наружные ограждения. Поэтому они должны быть снижены пропорционально отношению разности внутренней температуры и средней наружной за охладительный период ( $t_{н.ср.ок.п.раб}$  к разности температур ( $t_{в.ок} - t_{н.ок.при Q_{ок.ж}=0}$ ) — по аналогии с расчётом для офиса:

$$\begin{aligned} Q_{вн.ок.п} &= q_{вн.ок.ж} A_{ж} z_{ок.п} \tau 10^{-3} \times \\ &\times [1 - (t_{в.ок} - t_{н.ср.ок.п.раб}) / \\ &(t_{в.ок} - t_{н.ок.при Q_{ок.ж}=0})]; \end{aligned} \quad (4a)$$

$$Q_{вн.ок.п} = 8,8 \times 66 \times 148 \times 9 \times 10^{-3} \times [1 - (24 - 22,5) / (24 - 15)] = 645 \text{ кВт·ч}.$$

где  $q_{вн.ок.ж}$  — удельная величина внутренних теплопоступлений за охладительный период [Вт/м<sup>2</sup>], из формулы (1а) [1];  $A_{ж}$  — жилая площадь квартир, м<sup>2</sup>;  $z_{ок.п}$  — длительность условного охладительного периода,  $z_{ок.п} = 148$  суток;  $\tau$  — то же, что в формуле (4), но сохраняя девятичасовой период стояния повышенной дневной температуры, как и для офисов, однако для МКД без выходных,  $\tau = 9$  ч (из формулы (1а) [1] с учётом [13]);  $t_{в.ок}$  и  $t_{н.ок.при Q_{ок.ж}=0}$  — то же, что в формуле (2а);  $t_{н.ср.ок.п.раб}$  — средняя температура наружного воздуха рабочего времени суток за охладительный период, принимаем  $t_{н.ср.ок.п.раб} = 22,5^\circ\text{C}$ .

### в) Определение величин внешних теплопоступлений за охладительный период

$Q_{вн.ок.п} = 645$  кВт·ч — это величина бытовых (внутренних) теплопоступлений, компенсируемая системой охлаждения в течение условного охладительного периода  $z_{ок.п} = 148$  суток. Но есть ещё теплопоступления в период стояния температур наружного воздуха выше расчётной внутренней температуры  $t_{в.ок} = 24^\circ\text{C}$  через наружные ограждения и с наружным приточным воздухом.

В число дней, в которые будут иметь место эти теплопоступления, помимо всех 31 дня июля войдут 12 дней июня со средней температурой в рабочее время  $t_{н.ср.раб.июнь} = 24,35^\circ\text{C}$  и десять дней августа с  $t_{н.ср.раб.авг} = 24,3^\circ\text{C}$ , всего длительность климатического охладительного периода будет  $z_{клим.ок.п} = 53$  дня. Поэтому градусо-сутки климатического охладительного периода будут определяться как:

$$\begin{aligned} GCO_{П, клим} &= (24,35 - 24) \times 12 + \\ &+ (25,6 - 24) \times 31 + (24,3 - 24) \times 10 = \\ &= 57^\circ\text{C·сут}. \end{aligned} \quad (5a)$$

При определении теплопоступлений от превышения  $t_{н.ср.клим.ок.п.раб} > t_{в.ок}$  следует иметь в виду, что из этих суток принимаются только рабочее время использования помещения в день (среднемесячное), обозначенное в табл. 1 символом «т», но в условиях климата Москвы летом в дневное время за пределами принятого девятичасового диапазона температуры наружного воздуха в средний день месяца ниже  $t_{в.ок} = 24^\circ\text{C}$ , поэтому для жилых зданий  $\tau = 9$  ч (для других регионов подлежит уточнению).

Теплопоступления через наружные ограждающие конструкции здания за климатический охладительный период  $Q_{огр.ок.п.клим}$  [кВт·ч] определяют по формуле (6) для повышенного варианта теплозащиты здания, характеризующий

приведённым трансмиссионным коэффициентом теплопередачи квартиры типового рядового этажа:

$$K_{\text{тр.пов}}^{\text{пр}} = [(54 - 16,5)/3,6 + 16,5/0,8]/54 = 0,575 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$$Q_{\text{огр.ох.п.клим}} = K_{\text{тр}}^{\text{пр}} A_{\text{огр.сум}} GCOxI_{\text{клим}} \tau 10^{-3}; \quad (6a)$$

$$Q_{\text{огр.пов.ох.п.клим}} = 0,575 \times 54 \times 57 \times 9 \times 10^{-3} = 15,9 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где  $K_{\text{тр}}^{\text{пр}}$  и  $A_{\text{огр.сум}}$  — то же, что в формуле (1);  $GCOxI_{\text{клим}}$  — то же, что в формуле (5a);  $\tau$  — то же, что в формуле (4), но для жилых зданий  $\tau = 9$  ч.

**Теплопоступления с приточной вентиляцией**, связанные с тем, что температура наружного воздуха выше расчётной температуры воздуха в помещении, за климатический охладительный период определяют по формуле:

$$Q_{\text{вент.ох.п.клим}} = 0,28 L_{\text{вент}} \rho_v c_a GCOxI_{\text{клим}} \tau 10^{-3}; \quad (7a)$$

$$Q_{\text{вент.ох.п.клим}} = 0,28 \times 113,4 \times 1,2 \times 1,0 \times 57 \times 9 \times 10^{-3} = 19,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где  $L_{\text{вент}}$ ,  $\rho_v$  и  $c_a$  — то же, что в формуле (1a);  $GCOxI_{\text{клим}}$  — то же, что в формуле (5a);  $\tau$  — то же, что в формуле (4), но для жилых зданий  $\tau = 9$  ч.

Итого внутренние теплопоступления и внешние через наружные ограждения и с приточным воздухом в периоды превышения температуры наружного воздуха над расчётной внутренней составят:

$$Q_{\text{вн.ох.п}} + Q_{\text{огр.ох.п.клим}} + Q_{\text{вент.ох.п.клим}}$$

или  $645 + 15,9 + 19,5 = 680 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$

**Дополнительные теплопоступления за счёт повышения температуры наружной поверхности ограждений из-за облучения их солнцем.** По аналогии с расчётами офисного здания и с учётом рекомендаций в [12] среднесуточное повышение температуры на внешней поверхности стен квартиры за летний период составляет: южной ориентации  $\Delta t_{\text{д.ст.юг}} = 4,1 \text{ °C}$ ; ориентации восток/запад  $\Delta t_{\text{д.ст.в/з}} = 4,0 \text{ °C}$ ; северной ориентации  $\Delta t_{\text{д.ст.сев}} = 2,0 \text{ °C}$ . Дополнительными теплопоступлениями через окна из-за облучения их солнцем за малостью повышения температуры можно пренебречь. Тогда дополнительные теплопоступления при меридиональном и широтном расположении здания:

$$\Delta Q_{\text{ст.в(в+з)/2}} = 4,0 \times (54 - 16,5)/3,6 \times 92 \times 9/103 = 34,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta Q_{\text{ст.юг+сев./2}} = (4,1 + 2,0)/2 \times (54 - 16,5)/3,6 \times 92 \times 9/10^3 = 26,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

**Теплопоступления от солнечной радиации  $Q_{\text{инс.ох.п}}$  [кВт·ч], поступающие через светопрозрачные проёмы для всех фасадов здания, ориентированных по разным**

направлениям, которые следует определять по формуле (19) раздела 8 в [10] при средней интенсивности солнечной радиации и действительных условиях облачности, характерной для московского региона, за май — сентябрь плюс 13 дней апреля и семь дней октября (всего 173 дня), и применения окон с эмиссионным покрытием стекла ( $\tau_{\text{ок}} = 0,8$ ;  $k_{\text{ок}} = 0,54$ ) и без солнцезащитных устройств по аналогии с офисными зданиями, при меридиональном и широтном расположении здания составят, соответственно:

$$Q_{\text{инс.ж.ох.п.в(в+з)/2}} = (359 + 27) \times 16,5 \times 0,8 \times 0,54 = 2750 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$Q_{\text{инс.ж.ох.п.юг+сев./2}} = [(391 + 39) + (183 + 17)]/2 \times 16,5 \times 0,8 \times 0,54 = 2245 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

**Для более полной оценки энергоэффективности зданий предложена методика с примерами расчёта годовых затрат холода на охлаждение помещений жилых и общественных зданий при использовании рекомендованного в ISO 13790:2008 «метода квазистационарного состояния»**

**Годовые затраты холода на охлаждение помещений квартир**, ориентированных на восток/запад и юг/север, приведённые к затратам на одну квартиру:

$$Q_{\text{ж.ох.п.в(в+з)/2}} = Q_{\text{ох.п.безинс}} + \Delta Q_{\text{ст}} + Q_{\text{инс.ох.п}} = 680 + 34,5 + 2750 = 3465 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$Q_{\text{ж.ох.п.юг+сев./2}} = Q_{\text{ох.п.безинс}} + \Delta Q_{\text{ст}} + Q_{\text{инс.ох.п}} = 680 + 26,3 + 2245 = 2950 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

а удельные годовые затраты холода на охлаждение на 1 м<sup>2</sup> площади квартир ( $A_{\text{кв}} = 120 \text{ м}^2$ ), соответственно, будут:

$$q_{\text{ох.п.в(в+з)/2}} = 3465/120 = 28,9 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2;$$

$$q_{\text{ох.п.юг+сев./2}} = 2950/120 = 24,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2.$$

## Выводы

Для более полной оценки энергоэффективности зданий предложена методика с примерами расчёта годовых затрат холода на охлаждение помещений жилых и общественных зданий при использовании рекомендованного в ISO 13790:2008 (E) [7] «метода квазистационарного состояния», который позволяет в расчётах энергопотребления зданием за длительный период (обычно, месяц или сезон) учесть динамические эффекты за счёт выведенного эмпирическим путём показателя использования притоков или потерь».

В наших расчётах из-за отсутствия достаточного практического опыта этот коэффициент пока принят равным 1,0, и есть основания полагать, что рассчитанная по данной методике величина удельного годового расхода холода будет максимальной, поскольку её уточнение с использованием динамических характеристик только понизит её значение. Применение данной методики стало возможным после уточнения в [1] величин внутренних теплопоступлений для зданий различного назначения в части разделения их для отопительного периода и периода охлаждения.

Подтверждено, в частности, для условий города Москвы, что удельные годовые затраты холода в летний период на охлаждение помещений квартир, отнесённые к 1 м<sup>2</sup> площади квартир МКД широтной ориентации [ $q_{\text{ох.п.юг+сев./2}} = 24,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ ], значительно меньше аналогичных затрат на охлаждение помещений офисов такой же ориентации ( $q_{\text{ох.п.оф}} = 35,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ ), что послужило причиной более широкого применения в жилых зданиях при эксплуатации квартирных рециркуляционных воздухоохладителей, а в зданиях общественного назначения на стадии проектирования — прямооточных систем кондиционирования воздуха. ●

1. Ливчак В.И. Уточнение величин внутренних теплопоступлений в зданиях для периодов отопления и охлаждения // Журнал СОК, 2023. №5. С. 70–76.
2. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализ. ред. СНиП 41-01-2003 (с Поправкой, с Изм. №1) / Дата введ.: 01.07.2021.
3. Ливчак В.И. Роль градусо-суток охладительного периода при расчёте потребности жилых домов в охлаждении // Энергосбережение, 2015. №7. С. 22–27.
4. Ливчак В.И. Сравнение российских и американских нормативов. Таблица минимальных норм воздухообмена из ASHRAE 62.1–2016, гармонизированная к российским условиям // АВОК, 2020. №6. С. 20–27.
5. Кувшинов Ю.Я. Расчёт годовых расходов энергии системами вентиляции и кондиционирования воздуха // АВОК, 2006. №7. С. 20–27.
6. Табунщиков Ю.А., Миллер Ю.В. Оценка годового расхода энергии на отопление и охлаждение зданий // АВОК, 2013. №3. С. 56–65.
7. ISO 13790:2008. Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling [Энергоэффективность зданий. Расчёт потребления энергии на отопление и охлаждение помещений]. С июня 2017 года пересмотрен на ISO 52016-1:2017.
8. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализ. ред. СНиП 23-01-99\* / Дата введ.: 01.01.2013.
9. МГСН 4.19–2005. Временные нормы и правила проектирования multifunctionальных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве.
10. Стандарт СТО НОП 2.1–2014. Требования к содержанию и расчёту показателей энергетического паспорта проекта жилого и общественного здания. — М., 2014. 188 с.
11. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализ. ред. СНиП 23-02–2003 (с Изм. №1 и №2) / Дата введ.: 01.07.2013.
12. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. — М.: Высшая школа, 1970. 376 с.
13. Ливчак В.И. Нормирование показателей годового электропотребления жилыми зданиями, в том числе на общедомовые нужды // АВОК, 2015. №6. С. 46–51.

# Применение алгоритмов оптимизации для повышения надёжности работы энергосистем

В России, которая обладает большой территорией с высокой неравномерностью её заселения, важным аспектом развития страны является обеспечение надёжного энергоснабжения потребителей, проживающих как в зоне централизованного энергоснабжения, так и в зоне децентрализованных энергосистем. Согласно исследованиям [1, 2], в Российской Федерации имеется более 500 изолированных поселений и объектов с автономными системами энергоснабжения общей установленной мощностью более 1 ГВт. В настоящий момент основным видом топлива для изолированных населённых пунктов и объектов является дизельное топливо, однако его использование отличается как сложной логистикой (что отражается на стоимости топлива для конечного потребителя), так и высоким углеродным следом. Одним из вариантов альтернативного развития автономных энергосистем является внедрение в них возобновляемых источников энергии (ВИЭ), которые более волатильны по сравнению с дизельной генерацией. Перспективным способом повышения надёжности подобных автономных энергосистем является снижение неопределённости выработки энергии ВИЭ за счёт применения механизмов оптимизации и прогнозирования.

## Задача прогнозирования

Проблема прогнозирования выработки (в том числе с помощью ВИЭ) и потребления электроэнергии является ключевой для всех задач оптимизации микросети (уменьшенной версии централизованной системы электроснабжения, созданной для увеличения надёжности поставок электроэнергии, повышения энергонезависимости за счёт диверсификации источников энергии, а также иных энергосетевых структур способных работать в том числе автономно). Благодаря прогнозированию появляются возможность принимать управляющие решения на основе как текущих системных условий,

так и условий, которые сложатся в микросетях в будущем — на горизонте планирования. Для прогнозирования энергопотребления на основании имеющейся истории строятся и постоянно уточняются прогностические модели, структура которых зависит от объёма имеющихся данных.



Полученные с помощью прогностических моделей прогнозы независимых параметров оптимизации (потребления и генерации ВИЭ) используются в краткосрочной и оперативной оптимизации. Для решения задачи оперативной оптимизации используется оперативный прогноз потребления (порядка нескольких минут), полученный с помощью методов анализа и формирования временных рядов, основанных на авторегрессионных подходах (Autoregressive Integrated Moving Average, ARIMA) либо на интерполяции наиболее «свежих» точек траектории из фактического режима и точек из будущего, формируемых в задачах более дальнего прогноза. Прогноз ВИЭ-генерации на ветровых (ВЭС) и солнечных (СЭС) электростанциях составляется с использованием прогноза погоды и математических моделей, связывающих мощность этих электростанций с прогнозируемыми на расчётный срок метеопараметрами.

Рецензия эксперта на статью получена 11.07.2023 [The expert review of the article was received on July 11, 2023]

УДК 620.9. Научная специальность: 2.4.5 (05.14.01).

## Применение алгоритмов оптимизации для повышения надёжности работы энергосистем

**А. И. Величко**, генеральный директор ООО «Смартрен»; **М. С. Повернов**, технический директор ООО «Дельта П»; **Н. Шувалов**, магистр, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)

Статья посвящена использованию алгоритмов оптимизации в энергосистемах с высокой долей ВИЭ. На изолированных территориях России расположены сотни поселений и объектов с общей установленной электротехнической мощностью более 1 ГВт. Предлагаемые в статье решения по оптимизации энергобаланса способствуют повышению надёжности и предсказуемости работы локальных энергосистем.

**Ключевые слова:** автономные энергосистемы, оптимизация энергобаланса, возобновляемые источники энергии, надёжность энергосистем.

UDC 620.9. The number of scientific specialty: 2.4.5 (05.14.01).

## Application of algorithms to ensure the reliability of power systems

**A. I. Velichko**, general director of "Smartren", LLC; **M. S. Povernov**, technical director of "Delta P", LLC; **N. Shuvalov**, Master's Degree, [Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University \(SPbPU\)](#)

The article is devoted to the use of optimization algorithms in power systems with a high share of renewable power sources. Hundreds of settlements and facilities with a total installed electric power capacity of more than 1 GW are located in the isolated territories of Russia. The solutions proposed in the article to optimize the energy balance contribute to improving the reliability and predictability of the operation of local energy systems.

**Key words:** autonomous power systems, energy balance optimization, renewable energy sources, energy system's reliability.

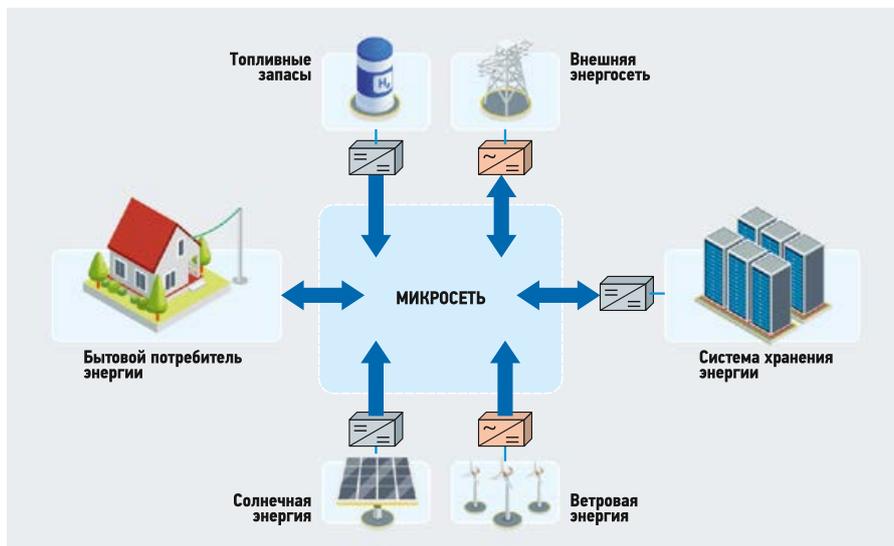


Рис. 1. Принципиальная схема микросети (microgrid)

### Задача оптимизации

Управление производством и/или потреблением электроэнергии в микросети является сложной задачей, основной целью которой является достижения оптимального использования энергоресурсов. Оптимизация работы микросетей может включать следующие задачи:

- максимизация выработки в определённый промежуток времени;
- минимизация операционных затрат микросети в определённый промежуток времени;
- минимизация использования дизельного топлива;
- максимизация заработка на рынке (в случае параллельной работы с основной, централизованной сетью) [3].

Выбор методологии для решения задачи оптимизации в микросетях зависит от многих факторов: целевых функций, установленной мощности микросети, её конфигурации, объёма данных и других.

### Нелинейное программирование

Некоторые исследователи используют модели на основе линейного (Linear Programming, LP) и нелинейного (Non-Linear Programming, NLP) программирования. Задача нелинейного программирования, включающая в себя нелинейность целевой функции и (или) ограничений:

$$f(x) \rightarrow \min,$$

где  $g_i(x)$ :

$$\text{Minimize } f(x)$$

$$\text{Subject to } g_i(x) \leq 0 \text{ for each } i \in \{1, \dots, m\}$$

$$H_j(x) = 0 \text{ for each } j \in \{1, \dots, p\}$$

$$x \in X.$$

Так, в статье [4] использовано смешанное целочисленное программирование для определения оптимальной площадки и конфигурации микросети на этапе проектирования. В работе [5] была предложена модель оптимизации микросети, состоящей из дизельных генераторов, на основе линейного программирования.

### Мультиагентная система

«Агентом» в мультиагентной платформе считается система, расположенная в среде, имеющая возможность выполнять действия автономно, чтобы соответствовать цели проектирования системы (рис. 2). Агенты, в отличие от других систем, способны выполнять действия иначе, чем программно-аппаратные системы.

**Благодаря прогнозированию появляется возможность принимать управляющие решения на основе как текущих системных условий, так и условий, которые сложатся в микросетях в будущем. Для этого используют модели на основе линейного и нелинейного программирования**

Так, агентам присущи следующие свойства [6, 7]:

1. **Реактивность** — способность агента реагировать на изменения внутри среды без прямого за счёт использования интеллектуальной системы, не влияя напрямую на окружающую среду.
2. **Автономность** — способность агента самостоятельно выполнять свои задачи в сети без внешнего вмешательства со стороны других агентов или людей.
3. **Ответная реакция** — способность агента полностью наблюдать за текущим состоянием среды и реагировать на него за минимально возможное время для внесения изменений в среду.
4. **Проактивность** — способность агента реагировать на различные условия, не обращая внимания на общее поведение среды.
5. **Социальность** — способность агента взаимодействовать с внешними источниками (с окружающей средой), такими как другой агент или человек.

### Алгоритмы на основе теории игр

Под алгоритмами на основе теории игр подразумевают алгоритмы, имитирующие действие игроков в различных конфликтах. Различают корпоративные и некорпоративные теории игр.

В работе [8] предложен алгоритм для оптимизации агрегированного спроса для снижения издержек с использованием алгоритмов на основе теории игр, снизив издержки как пула\* потребителей, так и каждого потребителя по отдельности.

\* Пул (pool) — разновидность монополии, объединение нескольких участников рынка, причём с общим фондом, состоящим из всех расходов и доходов участников.

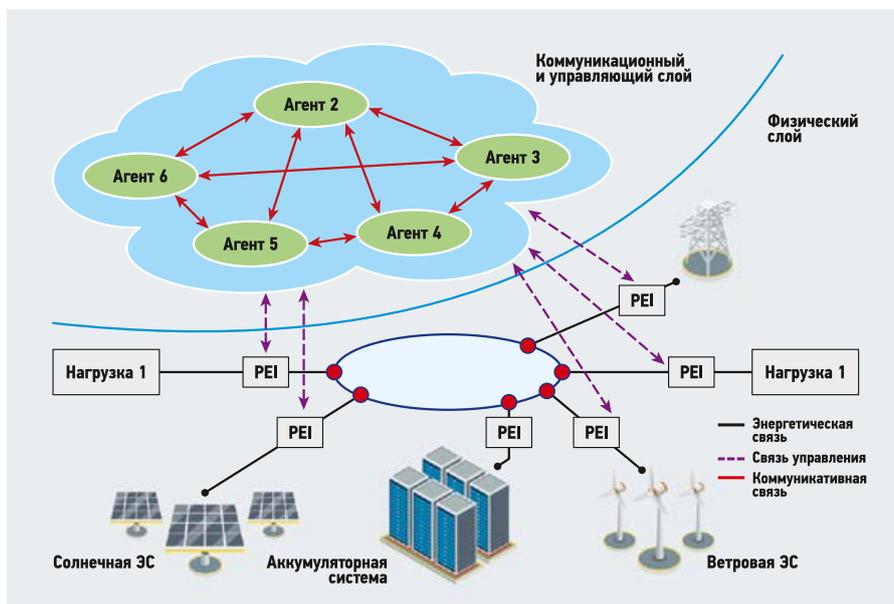


Рис. 2. Мультиагентная платформа

**Стохастические методы оптимизации**

Стохастическая оптимизация (Stochastic Optimization, SO) — это направление теории оптимизации, в котором модель или алгоритм используется для определения наилучшего распределения имеющихся ресурсов. Она особенно полезна для оптимизации микросетей благодаря своей способности учитывать неопределённые факторы, такие как прогноз погоды, изменения нагрузки пользователей и меняющееся производство энергии из возобновляемых источников. Цель стохастической оптимизации — найти наиболее эффективный и экономичный способ использования имеющейся энергии с учётом стохастической природы регрессоров модели.

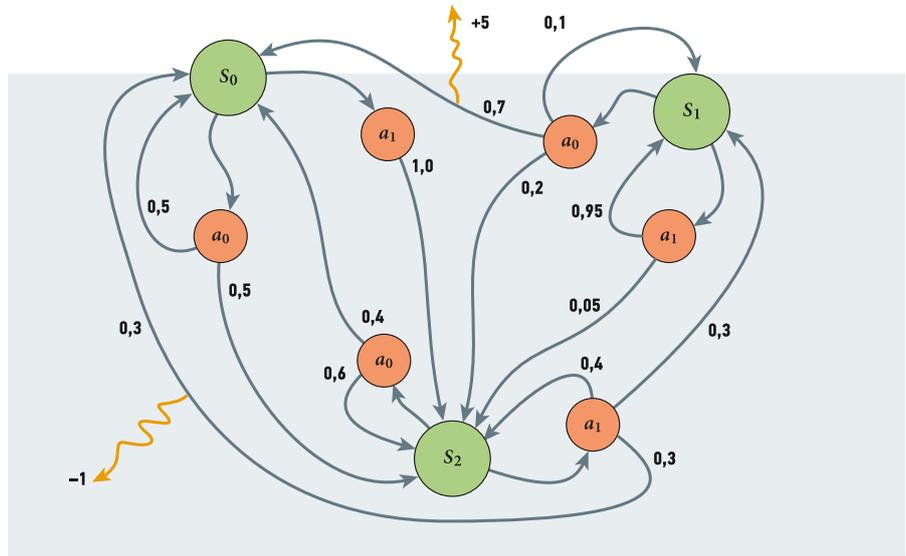


Рис. 3. Пример алгоритма MDP с тремя состояниями и двумя действиями



Стохастическая оптимизация также может использоваться и для управления хранением энергии в системе микросети. Принимая во внимание постоянные колебания в производстве возобновляемой энергии, алгоритм может решить, какие источники энергии использовать, когда хранить энергию и в каком количестве. Это помогает обеспечить микросеть достаточным количеством электроэнергии для удовлетворения спроса при минимизации затрат. Наконец, алгоритмы стохастической оптимизации могут быть использованы для оптимизации использования различных источников энергии в системе микросети. Алгоритм может оценить несколько вариантов, чтобы определить источник, который обеспечивает наиболее экономически эффективную электроэнергию. Он также может учитывать доступность энергии из различных источников и определять приоритетность этих источников, чтобы гарантировать, что энергия распределяется наиболее эффективным образом.

Рассматривая эти алгоритмы микросети, можно убедиться, что они оптимально используют свои источники энергии.

В результате вся система в целом может стать более устойчивой и менее уязвимой к колебаниям как производства электроэнергии, так и спроса на неё.

Выделяется два основных типа алгоритмов стохастической оптимизации: эволюционные алгоритмы (evolutionary algorithms) и алгоритмы роевого интеллекта (swarm algorithms). Выбор конкретного алгоритма стохастической оптимизации в значительной степени зависит от основных целей, а также от конкретных характеристик микросети.

**Если целью создания микросети является минимизация эксплуатационных расходов, то будет выбран алгоритм управления с прогнозированием модели Model Predictive Control. Алгоритмы управления с прогнозированием модели Model Predictive Control оптимизированы для генерации наилучшего решения по управлению, как в детерминированных, так и в стохастических условиях**

Например, если целью является минимизация эксплуатационных расходов, то алгоритмом выбора, скорее всего, будет алгоритм управления с прогнозированием модели (Model Predictive Control, MPC). Это связано с тем, что алгоритмы MPC оптимизированы для генерации наилучшего решения по управлению, как в детерминированных, так и в стохастических условиях.

Кроме того, алгоритмы MPC имеют ряд преимуществ перед другими методами оптимизации — они могут работать с несколькими целями и ограничениями, а также могут применяться на нескольких временных шагах.

С другой стороны, если целью является, например, оптимизация использования возобновляемых источников энергии и минимизация углеродного следа сети, то лучшим выбором может быть стохастический алгоритм оптимизации, такой как алгоритм марковского процесса принятия решений (Markov Decision Process, MDP). Это связано с тем, что алгоритмы MDP специально разработаны для учёта неопределённости, что позволяет лучше оптимизировать и прогнозировать будущее использование энергетических ресурсов (рис. 3).

В конечном счёте выбор лучшего алгоритма для оптимизации микросети в значительной степени будет зависеть от желаемых целей и характеристик конкретной микросети.

Решить марковский процесс принятия решений означает найти оптимальную стратегию, максимизирующую «вознаграждение» (функцию ценности). Самая простая функция ценности — это математическое ожидание формального ряда:

$$E \left[ \sum_{t=0}^{\infty} R_{A_t}(s_t, s_{t+1}) \right],$$

где  $a_t = \pi(s_t)$ , а математическое ожидание берётся в соответствии с  $s_{t+1} \sim P_{A_t}(s_t)$ .

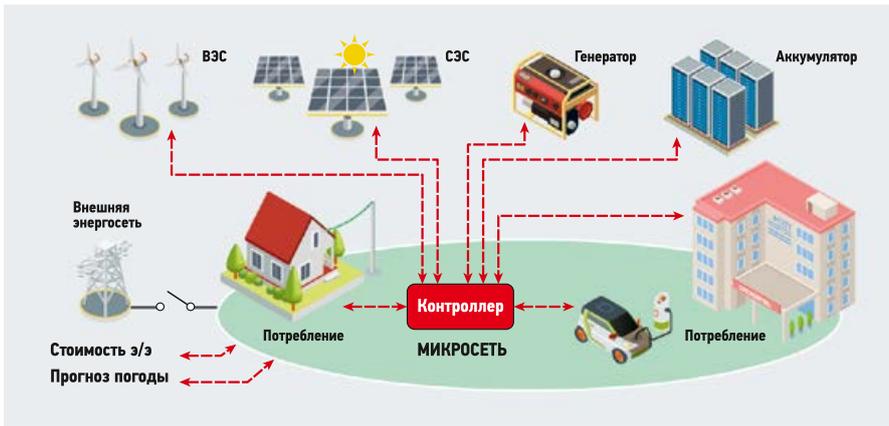


Рис. 4. Пример smart microgrid («умной» системы распределения электроэнергии)

**Алгоритмы на основе искусственного интеллекта**

Широкую популярность в оптимизации микросетей получили алгоритмы на основе искусственного интеллекта, в этом случае некоторые исследователи часто выделяют отдельный класс микросетей — smart microgrid (рис. 4).

Smart microgrid — это «умная» система распределения электроэнергии, которая соединяет между собой потребление электроэнергии, объекты распределённой энергетики и накопители электрической энергии в чётко определённых электрических границах, чтобы действовать как единый контролируемый объект по отношению к основной сети [9, 10].

Основными алгоритмами, которые могут быть использованы в smart microgrid, в данном случае могут быть:

- нейронные сети (neural networks);
- метод роя частиц (Particle Swarm Optimization, PSO);
- алгоритмы нечёткой логики (fuzzy logics), задействующие классическую логику и теорию множеств;
- метод имитации поведения бактерий (Bacterial Foraging Optimization, BFO);
- алгоритмы обучения с подкреплением.

**Обучение с подкреплением в оптимизации микросетей**

Обычно задача обучения с подкреплением (Reinforcement Learning, RL) заключается в нахождении оптимальной стратегии на основе собственного опыта. Модель обучения с подкреплением состоит из среды, множества действий и агента. Задача обучения с подкреплением основана на гипотезе о вознаграждении, которая утверждает возможность достижения любой цели (или решения любой задачи) через максимизацию вознаграждения.

В результате взаимодействия агента со средой агент может получать награду (рис. 5), то есть переходит в состояние  $s_{i+1}$ , получая вознаграждение  $r_i$ . Задачей в об-



Рис. 5. Взаимодействие агента со средой

учении с подкреплением является максимизация математического ожидания вознаграждения  $E\pi[G] \rightarrow \max$ .

Имплементация многих алгоритмов обучения с подкреплением основана на дилемме «исследование или эксплуатация» (exploration vs exploitation), то есть баланса между максимизацией функции вознаграждения и исследования среды.

В свою очередь, алгоритмы с подкреплением можно разделить на model-free и model-based. Так, в model-free алгоритмам отсутствует модель, описывающая

**Алгоритмы model-free делятся на Q-learning и Policy optimization. Они могут показать одинаковые результаты в простых задачах, при этом в Q-обучении нужно максимизировать Q-value во всём дискретном пространстве действий, а алгоритмы Policy optimization нацелены на поиск взаимосвязи между пространством состояний и действий**

среду, а в model-based алгоритмах такая модель присутствует —  $p(s_0 | s, a)$ . Классификация алгоритмов с подкреплением представлена на рис. 6.

Алгоритмы типа model-free можно разделить на алгоритмы Q-learning и Policy optimization. Данные алгоритмы могут показать одинаковые результаты в простых задачах, при этом в Q-обучении нужно максимизировать Q-value во всём дискретном пространстве действий, а алгоритмы типа Policy optimization нацелены на поиск взаимосвязи между пространством состояний и действий, который могут быть непрерывными.

Алгоритмы Policy optimization, в отличие от алгоритмов Q-learning, применяются в задачах с большим количеством возможных действий.

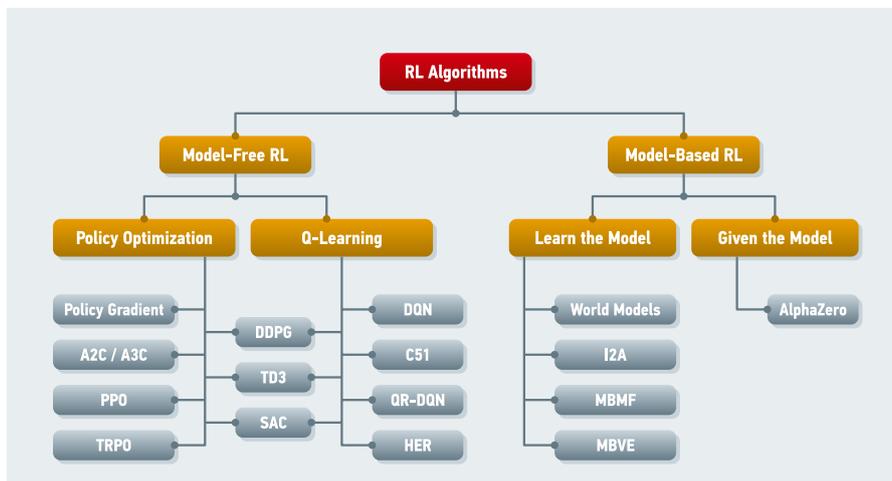


Рис. 6. Классификация алгоритмов с подкреплением



## Алгоритмы Q-learning

Большой популярностью пользуются алгоритмы Q-learning, которые направлены на определение функции полезности Q. Данные алгоритмы построены на принципе оптимальности Беллмана.

Q-обучение — это обучение с подкреплением без модели, без политики, которое находит наилучший курс действий, учитывая текущее состояние агента. В зависимости от того, где агент находится в окружающей среде, он будет решать, какое следующее действие предпринять.

Цель модели — найти наилучший курс действий с учётом текущего состояния. Для этого он может придумать собственные правила или действовать вне рамок заданной ему политики. Отсутствие модели означает, что агент использует предсказания ожидаемой реакции среды для продвижения вперёд. Он не использует систему вознаграждения для обучения, а скорее метод проб и ошибок:

$$V(s) = \max E[r_0 + \gamma V(s')]; \pi.$$

## Глубинное Q-обучение

Главным недостатком алгоритма Q-learning является возможность его применения только для очень маленьких сред, поскольку алгоритм быстро теряет свою целесообразность при увеличении числа состояний и действий в среде. Решение вышеупомянутой проблемы приходит от осознания того, что значения в матрице имеют только относительную ценность, то есть значения имеют ценность только по отношению к другим значениям.

Таким образом, данное мышление приводит нас к глубинному Q-обучению (Deep Q-learning, DQL), который использует глубинную нейронную сеть (Deep Neural Network, DNN) для аппроксимации значений. Эта аппроксимация значений не вредит, пока сохраняется относительная важность. Основной рабочий шаг для Deep Q-learning заключается в том, что начальное состояние подаётся в нейронную сеть, которая возвращает Q-значение всех возможных действий в качестве выхода.

Deep Q-learning — это вариант Q-learning, который использует глубинную нейронную сеть для представления Q-функции, а не простую таблицу значений. Это позволяет алгоритму обрабатывать среды с большим количеством состояний, а также обучаться на основе высокоразмерных данных, таких как изображения или данные датчиков.

Одна из основных проблем при реализации глубинного Q-обучения заключается в том, что Q-функция обычно нели-

**Главным недостатком алгоритма Q-learning является возможность его применения для очень маленьких сред, поскольку алгоритм быстро теряет свою целесообразность при увеличении числа состояний и действий в среде. Решение здесь в том, что значения в матрице имеют только относительную ценность**

нейна и может иметь множество локальных минимумов. Это может затруднить сходимость нейронной сети к правильной Q-функции. Для решения этой проблемы было предложено несколько методов, таких как воспроизведение опыта и целевые сети. Воспроизведение опыта является непосредственно методом, при котором агент хранит подмножество своего опыта (состояние, действие, вознаграждение, следующее состояние) в буфере памяти и делает выборку из него для обновления Q-функции. Это помогает декоррелировать данные и сделать процесс обучения более стабильным.

Целевые нейронные сети, с другой стороны, используются для стабилизации обновлений Q-функции. В этой технике отдельная нейросеть используется для вычисления целевых Q-значений, которые затем используются для обновления сети Q-функции.

Глубинное Q-обучение применяется для решения широкого круга задач, включая игры, робототехнику и автономные транспортные средства. Например, оно использовалось для обучения агентов, которые могут играть в Atari и Go, и для управления роботами, выполняющими такие задачи, как захват и навигация.

## Компромиссы между оптимизацией политики и Q-learning

Основная сила методов оптимизации политики заключается в том, что они «принципиальны» — в том смысле, что вы напрямую оптимизируете то, что вам нужно. Это, как правило, делает их стабильными и надёжными, в то время как методы Q-обучения лишь косвенно оптимизируют работу агента, обучая удовлетворять уравнению самосогласованности. Для такого обучения существует множество способов отказа, поэтому оно, как правило, менее стабильно.

Однако методы Q-обучения имеют то преимущество, что они значительно более эффективны, когда они работают, потому что они могут повторно использовать данные более эффективно, чем методы оптимизации политик. По счастли-

вой случайности, оптимизация политики и Q-обучение не являются несовместимыми (а при некоторых обстоятельствах, как выясняется, эквивалентными), и существует целый ряд алгоритмов, которые находятся между этими двумя крайностями. Подходящие алгоритмы, находящиеся в этом спектре, способны тщательно искать компромисс между сильными и слабыми сторонами.

Примерами могут послужить:

- Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG) — алгоритм, который одновременно обучается детерминированной политике и Q-функции, используя каждую из них для улучшения другой;
- Soft Actor Critic (SAC) — вариант, который использует стохастические политики, энтропийную регуляризацию и несколько других методов для стабилизации обучения и получения более высоких результатов, чем DDPG на стандартных эталонах.

## Policy optimization

В обучении с подкреплением существует множество различных вариантов того, что аппроксимировать, — политики, функции ценности, модели динамики или их комбинации. Это контрастирует с контролируемым обучением, где обычно изучается отображение от входов к выходам.

В обучении с подкреплением есть два ортогональных выбора: какую цель оптимизировать (политика, функции ценности, модели динамики) и какой тип аппроксимационной функции выбрать.

На самом «верхнем» уровне мы имеем два различных подхода для создания алгоритмов RL: оптимизация политики и динамическое программирование.

Методы оптимизации политики сосредоточены вокруг политики — функции, которая отображает состояние агента к его следующему действию. Эти методы рассматривают обучение с подкреплением как задачу численной оптимизации, где мы оптимизируем ожидаемое вознаграждение в зависимости от параметров политики. Существует два способа оптимизации политики.

Во-первых, это алгоритмы оптимизации без производных (Derivative-Free Optimization, DFO), включая эволюционные алгоритмы. Данные алгоритмы работают путём возмущения параметров политики множеством различных способов, измеряя их производительность, а затем двигаются в направлении хорошей производительности. Они просты в реализации и очень хорошо работают для политик с небольшим количеством параметров, но они плохо масштабируются с увеличением числа параметров.



© foto: VEKTA, veakta.com

•• **Микросети** предлагают надёжное энергообеспечение и возможность использовать другие виды энергии, что помогает снизить расходы на коммунальные услуги. Микросеть, подключённая к более крупной энергосистеме, может работать независимо от неё в полностью автономном режиме, снабжая электроэнергией только своих потребителей.

Некоторые алгоритмы DFO, используемые для оптимизации политики, включают метод перекрёстной энтропии, адаптацию ковариационной матрицы и стратегии естественной эволюции (все три используют распределение Гаусса), а также метод генеративного кодирования Нурег-НЕАТ, который также задействует эволюцию топологии сети.

Во-вторых, существуют градиентные методы политики. Эти алгоритмы могут оценить направление улучшения политики, используя различные величины, измеренные агентом, причём, в отличие от алгоритмов DFO, им не нужно «возмущать» параметры, чтобы измерить направление улучшения. Градиентные методы политики немного сложнее в реализации, и они испытывают определённые трудности при оптимизации поведения, которое разворачивается в течение очень длительного времени, но они способны оптимизировать гораздо более крупные политики, чем алгоритмы оптимизации без производных DFO.

Второй подход к разработке алгоритмов RL — это адаптивное (приближённое) динамическое программирование (Adaptive Dynamic Programming, ADP). Эти методы сосредоточены на изучении функций ценности, которые предсказывают, сколько вознаграждения получит агент. Истинные функции ценности подчиняются определённым уравнениям согласованности, и алгоритмы ADP работают, пытаясь удовлетворить этим уравнениям. Существуют два известных алгоритма для точного решения задач RL, которые имеют конечное число состояний и действий: итерация политики и итерация значений (оба эти алгоритма являются частными случаями общего алгоритма, называемого модифицированной итерацией политики).

Эти алгоритмы могут быть объединены с аппроксимацией функций различными способами, и в настоящее время ведущие потомки итерации значений работают путём аппроксимации Q-функций.

Стоит также упомянуть, что существуют методы вида «актор — критик» (Actor Critic, AC), которые сочетают в себе элементы как оптимизации политики, так и динамического программирования. Эти методы оптимизируют политику, но они используют функции ценности для ускорения этой оптимизации, и часто задействуют идеи из приближённого динамического программирования для подгонки функций ценности.

### Обучение с подкреплением в оптимизации микросетей

Обучение с подкреплением (Reinforcement Learning, RL) является мощным инструментом, который может быть использован для планирования энергосистем в высоко стохастических средах, таких как микросети с возобновляемыми источниками энергии. RL использовалось для планирования режима работы аккумуляторных батарей, диспетчеризации энергии микросети, а также управления HVAC, энергопотреблением в «умных домах», многоуровневыми накопителями энергии, общими накопителями энергии в кластерах зданий и т.д. Было замечено, что эффективность метода на основе RL зависит от того, как сформулирована проблема. Необходимо разработать такую формулировку, которая обеспечит лучшую оптимальность при значительной эффективности.

Одной из основных проблем в применении RL является разработка марковских процессов принятия решений (MDP), которые наилучшим образом представляет

среду оптимизации. При разработке детерминированных MDP стохастичность моделируемой среды игнорируется. Было установлено, что такие допущения отрицательно влияют на точность получаемых решений. Кроме того, детерминированные MDP занимают большой объём памяти. Более того, в случае частично наблюдаемого марковского процесса принятия решений (Partially Observable Markov Decision Process, PO-MDP) трудно обеспечить адекватные наблюдения, которые позволили бы обучающемуся агенту правильно оценить состояния. Современные методы включают в себя аспекты контролируемого обучения, в котором моделируемая среда используется для обучения искусственной нейронной сети (ИНС), лучше приближающих состояния, чем простые цепи Маркова, и занимающих меньше места в памяти, чем MDP.

Обзор литературы показал, что традиционные проблемы, с которыми сталкиваются алгоритмы RL, такие как «проклятие размерности» и «проблема исследования или эксплуатации», были грамотно решены. Было отмечено, что методы, используемые для решения этих проблем, вводят новые проблемы, такие как нестабильность в глубинных нейросетях Q-обучения (Deep Q-Network, DQN) и методы градиента чистой политики. Хотя воспроизведение опыта было применено для улучшения стабильности в методах, основанных на ценности, оно вносит дисперсию в методы, основанные на политике.

В имеющейся литературе отмечается, что разделение сетей политик и сетей функций ценности даёт лучшие результаты. Это разделение является основной причиной успеха алгоритмов Actor Critic (AC). Тот факт, что архитектура AC гибридузирует градиенты политики с методами, основанными на ценности, является основной причиной того, что она более надёжна в управлении питанием микросети. Было отмечено, что современные алгоритмы RL так или иначе принимают форму этой архитектуры.

В последнее время некоторые микросети оснащаются новыми технологиями, такими как децентрализованное распределение электроэнергии, распределённая система хранения энергии, интеллектуальное планирование нагрузки и реагирование на спрос в реальном времени, объединение микросетей и т.д. Такие технологии требуют более совершенных алгоритмов управления. Методы обучения с подкреплением были усовершенствованы для адаптации к новым задачам в области управления питанием микросетей.

Мультиагентное обучение с подкреплением (Multi-Agent Reinforcement Learning, MARL) рассматривается как одна из самых мощных технологий обучения для управления электроэнергией в распределённой схеме диспетчеризации и взаимосвязанных микросетях.

Кроме того, с увеличением размерности в сетевых микросетях могут справиться методы оптимизации политики, такие как Trust Region Policy Optimization (TRPO) и Proximal Policy Optimization (PPO), благодаря их способности плавно оптимизировать цели более эффективно в условиях высокой неопределённости, непрерывности и многомерности. Было замечено, что алгоритмы оптимизации также проще в реализации и настройке. Более того, применение трансфертного обучения в методах Deep Reinforcement Learning (DRL) может помочь эффективно перенести успех методов DRL в играх на современные среды управления питанием. А проблемы, такие как уязвимость интеллектуальных сетей к киберфизическим атакам и стихийным бедствиям, могут быть решены с помощью приоритетного воспроизведения опыта. Воспроизведение предыдущих событий с высокой степенью воздействия и низкой вероятностью для агента может лучше адаптировать его к более адекватной реакции на них, когда они повторяются.

Кроме того, для максимизации производительности агента в случаях, когда задача имеет большое сходство с той, которая уже решалась агентом ранее, может быть реализовано обучение с переносом. Методы обучения на основе внутренней мотивации, такие как обучение на основе любопытства и воспроизведение опыта «задним числом», способны уменьшить сложность разработки вознаграждений в сложных системах. Это связано с тем, что эти методы отделяют переходы среды от функции подкрепления.

Основной целью внедрения внутренней мотивации в RL является улучшение масштабируемости алгоритмов за счёт отделения динамики среды от функции вознаграждения. Весьма важно использовать существующие знания о динамике системы для улучшения производительности алгоритмов. Поэтому гибридизация методов внешней и внутренней мотивации может привести к более стабильному обучению в сложных условиях энергосистем.

Подобная гибридная схема вознаграждения может извлечь выгоду как из знаний разработчика о динамике среды, так и из собственного опыта агента в процессе обучения.



По оценке Wood Mackenzie, благодаря растущему спросу на услуги бесперебойного энергоснабжения, целям устойчивого развития крупных корпораций и планам Вооружённых сил США по обеспечению отказоустойчивости, американский рынок микросетей в 2022 году достиг объёма 10 ГВт.

### Существующие решения: краткий обзор научных статей

В работе [11] рассматривалась микросеть для распределения энергии с местным потребителем, с ветроэнергетической установкой и накопителем (аккумулятор), подключённым к внешней сети через трансформатор. В ней предлагается алгоритм обучения с опережением в два шага для планирования работы аккумулятора, который играет ключевую роль в достижении целей потребителя. В основе лежит многокритериальное принятие решений отдельным потребителем, который ставит перед собой цели увеличить коэффициент использования батареи во время высокого спроса на электроэнергию (чтобы снизить закупку электроэнергии из внешней сети) и увеличить коэффициент использования ветряной турбины для местного использования (чтобы повысить независимость потребителя от внешней сети).

Прогнозы доступной мощности ветроэлектрических установок подаются в алгоритм обучения с подкреплением для выбора оптимальных действий по планированию батареи. Встроенный механизм обучения позволяет расширить знания потребителя об оптимальных действиях по планированию заряда батареи в различных условиях окружающей среды, зависящих от времени.

Разработанная схема даёт возможность интеллектуальным потребителям изучать стохастическую среду и использовать полученный опыт для выбора оптимальных действий по управлению энергией.

В статье [12] исследовалась эффективность различных алгоритмов глубинного обучения с подкреплением для улучшения системы управления энергией в микросети. Авторами была предложена новая модель микросети, которая состоит из ветрогенератора, системы хранения энергии,

набора термостатически управляемых нагрузок, набора нагрузок, реагирующих на цену, и подключения к основной сети. Предлагаемая система управления энергией предназначена для координации между различными гибкими источниками путём определения приоритетных ресурсов, прямых сигналов управления спросом и цен на электроэнергию. В данной работе были реализованы и эмпирически сравнены семь алгоритмов глубинного обучения с подкреплением. Численные результаты показали, что алгоритмы глубинного обучения с подкреплением сильно различаются по своей способности сходиться к оптимальным политикам. Добавив повторение опыта и полудетерминированную фазу обучения к известному асинхронному алгоритму «актор — критик» с преимуществами, была достигнута наивысшая производительность модели, а также сходимости к почти оптимальным политикам.

В работе [13] поднимается тема использования обучения с подкреплением в реальном времени. Благодаря последним достижениям и применению технологий интеллектуальных сетей, энергосистемы подвергаются радикальной модернизации. Микросеть играет важную роль в процессе модернизации, обеспечивая гибкий способ интеграции распределённых возобновляемых источников энергии в энергосистему. Однако распределённые ВИЭ, такие как солнечная и ветровая энергия, могут быть очень прерывистыми и стохастическими. Эти неопределённые ресурсы в сочетании со спросом на нагрузку приводят к случайным колебаниям как спроса, так и предложения, что затрудняет эффективное управление системой. Сфокусировавшись на этой проблеме, в данной работе предложен новый подход к управлению энергией для пла-

нирования работы микросети в реальном времени с учётом неопределённости спроса на нагрузку, возобновляемой энергии и цены на электроэнергию. В отличие от традиционных подходов, основанных на моделировании и требующих предиктора для оценки неопределённости, предлагаемое решение основано на обучении и не требует явной модели неопределённости. В частности, управление энергией сети моделируется как марковский процесс принятия решений (MDP) с целью минимизации ежедневных эксплуатационных расходов.

Для решения MDP разработан подход глубинного обучения с подкреплением (Deep Reinforcement Learning, DRL). В подходе DRL для аппроксимации оптимальной функции «действие — значение» разработана глубинная нейронная сеть с прямой передачей, а для обучения нейронной сети используется алгоритм глубинной Q-сети (DQN). Предложенный подход принимает в качестве входных данных состояние микросети и выдаёт непосредственно графики генерации в реальном времени. Наконец, используя реальные данные электросетей «Калифорнийского независимого системного оператора» (CAISO, США), были проведены тематические исследования для демонстрации эффективности предложенного подхода.

В последней из рассматриваемых статей [14] авторы пишут о том, что использование крупномасштабной распределённой возобновляемой энергии способствует развитию мульти-микросети (Multi-Microgrid, MMG), а это повышает необходимость разработки эффективного метода управления энергией для минимизации экономических затрат и поддержания собственной энергоэффективности. Мультиагентное глубинное обучение с подкреплением (Multi-Agent Deep Reinforcement Learning, MADRL) широко используется для решения проблемы управления энергией благодаря

## **В связи с необходимостью снижения затрат на энергоснабжение изолированных объектов и поселений, повышения надёжности энергоснабжения и сокращения выбросов парниковых газов, в автономных энергосистемах изолированных объектов и поселений будет увеличиваться доля ВИЭ**

своей способностью планировать работу в режиме реального времени. Однако для его обучения требуются массивные данные о работе микросетей (Microgrid, MG), а сбор этих данных от разных MG ставит под угрозу их конфиденциальность и безопасность данных. Поэтому в данной работе предлагается решение этой сложной проблемы федеративным (federated) мультиагентным алгоритмом глубинного обучения с подкреплением (F-MADRL) с использованием физически обоснованного вознаграждения. В этом алгоритме для обучения алгоритма MADRL используется механизм федеративного обучения Federated Learning (FL), что обеспечивает конфиденциальность и безопасность данных. Кроме того, построена децентрализованная модель MMG, и энергия каждого участвующего MG управляется агентом, целью которого является минимизация экономических затрат и поддержание самодостаточности энергии в соответствии с физически информированным вознаграждением. Сначала MG индивидуально выполняют самообучение на основе местных данных о работе энергосистемы, чтобы обучить свои локальные модели агентов. Затем эти локальные модели периодически загружаются на сервер, а их параметры объединяются для создания глобального агента, который будет передан MG и заменит их локальных агентов. Таким образом, опыт каждого агента MG может быть совместным, а данные о работе энергосистемы не

передаются в явном виде, что позволяет защитить конфиденциальность и обеспечить безопасность данных. Наконец, ведутся эксперименты на тестовой системе микросети лаборатории распределённого управления энергией (ORNL-MG) Ок-Риджской национальной лаборатории (Oak Ridge National Laboratory, ORNL) в США, в которых проводится сравнение для проверки эффективности внедрения механизма FL и превосходства предложенного F-MADRL.

## **Выводы**

В силу больших территорий Российской Федерации при их неравномерном заселении проблема автономного энергоснабжения изолированных объектов и поселений играет значительную роль в развитии нашего государства. В связи с необходимостью снижения затрат на энергоснабжение изолированных объектов и поселений, повышения надёжности энергоснабжения и сокращения выбросов парниковых газов в автономных энергосистемах изолированных объектов и поселений будет увеличиваться доля ВИЭ. Это делает энергосистемы более волатильными и менее предсказуемыми и требует дополнительных механизмов снижения неопределённости их работы. Одним из таких механизмов, повышающих надёжность работы энергосистемы, является использование алгоритмов оптимизации на краткосрочном и среднесрочном горизонте планирования.

В настоящий момент компаниями «Смартрен» и «Дельта П» ведётся работа по разработке и внедрению аппарата прогнозирования для автономных энергосистем. Создан и испытан пилотный аппаратный метеорологический комплекс, ведутся совместные тесты и работы по оптимизации энергосистем и прогнозированию выработки ветровой и солнечной энергии на собственном стенде и для компаний, генерирующих электроэнергию ВИЭ по программе ДПМ. ●

1. Объекты генерации в изолированных и труднодоступных территориях в России: Доклад АЦ при Правительстве РФ. — М., 2020. 78 р.
2. Дальний Восток и регионы Арктики получают инвестиционную карту объектов промышленной распределённой генерации [Электр. текст]. РЭА Минэнерго России от 07.07.2023. Режим доступа: [rosenergo.gov.ru](https://rosenergo.gov.ru). Дата обращения: 08.07.2023.
3. Khan A.A., Naeem M., Iqbal M., Qaisar S., Anpalagan A. A compendium of optimization objectives, constraints, tools and algorithms for energy management in microgrids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016.
4. Wouters C., Fraga E., James A. MILP approach for the design of residential microgrids with energy interactions restrictions. *Computer Aided Chemical Engineering*. 2015. Vol. 37. Pp. 2357–2362.
5. Delgado C., Dominguez-Navarro J.A. Optimal design of a hybrid renewable energy system. *Proc. of the 9th International Conference on Ecological Vehicles and Renew-*

- able Energies (EVER). Monte-Carlo, Monaco. March 25–27, 2014.
6. Khan M.R.B., Jidin R., Pasupuleti J. Multi-agent based distributed control architecture for microgrid energy management and optimization. *Energy Conversion and Management*. 2016. Vol. 112. Pp. 288–307.
7. Khan M.W., Jie W. The research on multi-agent system for microgrid control and optimization. *Renewable and Sustainable Energy Review*. 2017. Vol. 80. Pp. 1399–1411.
8. Chouikhi S., Merghem-Boulahia L., Esseghir M. Energy demand scheduling based on game theory for microgrids. *Proc. of the 2018 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. May 20–24, 2018. Kansas City, KCMO, US.
9. Tavakoli A., Saha S., Arif M.T., Haque M.E., Mendis N. Impacts of grid integration of solar PV and electric vehicle on grid stability, power quality and energy economics: A review. *The Institution of Engineering and Technology (IET) Digital Library*. 2020. Vol. 2. Issue 3. Pp. 243–260.

10. Nair D.R., Nair M.G., Thakur T. A smart microgrid system with artificial intelligence for power-sharing and power quality improvement. *Energies*. 2022. Vol. 15. Issue 15.
11. Kuznetsova E.I., Li Y.-F., Ruiz C., Zio E., Ault G., Bell K. Reinforcement learning for microgrid energy management. *Energy*. 2013. Vol. 59. Pp. 133–146.
12. Nakabi T.A., Toivanen P. Deep reinforcement learning for energy management in a microgrid with flexible demand. *Sustainable Energy, Grids and Networks*. 2021. Vol. 25.
13. Ji Y., Wang J., Xu J., Fang X., Zhang H. Real-time energy management of a microgrid using deep reinforcement learning. *Energies*. 2019. Vol. 12. Issue 12.
14. Li Y., He S., Li Y., Shi Y., Zeng Z. Federated multi-agent deep reinforcement learning approach via physics-informed reward for multi-microgrid energy management. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*. January 3, 2023. 12 p.

[References — see page 78.](#)



Фото: vseгда-pomnim.com

# Анализ эффективности ПАТЭС для портовых населённых пунктов арктической зоны на примере г. Дудинка

Развитие арктических территорий Российской Федерации является важной государственной задачей. По информации Аналитического центра при Правительстве РФ, в арктических регионах России проживает до 4 млн человек и располагается более 1 ГВт установленной мощности электростанций [1, 2]. В качестве основного топлива для арктической зоны РФ выступает дорогое (из-за сложной логистики) и низкоэкологичное дизельное топливо. Проведённый в рамках исследовательской работы анализ береговой линии вдоль Северного морского пути (СМП, от Мурманска до Владивостока) показывает, что на протяжении трассы СМП расположено достаточно много крупных портов и объектов нефтегазовой отрасли. Данные объекты — крупные потребители энергии, для энергоснабжения которых целесообразно рассматривать в том числе мобильные плавучие атомные электростанции.

В настоящее время в портфеле разработок ГК «Росатом» есть компактные интегральные установки различной мощности (от 0,4 до 175 МВт) и различного исполнения (АТГОР, «Шельф», «Ритм»). Разрабатываются и новые конструкции модульных малых реакторов на основе свинцово-висмутового теплоносителя («СВЕТ-М») с полностью пассивным охлаждением, что повышает безопасность эксплуатации установки. Такими атомны-

ми электростанциями можно обеспечивать базовый уровень потребления электроэнергии и тепла от посёлка до крупного промышленного объекта.

В качестве одного из перспективных проектов для использования плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС) можно рассматривать порт Дудинку, город районного подчинения, административный центр административно-территориальной единицы с особым статусом Таймырского Долгано-Ненецкого района Красноярского края (рис. 1).

В городе Дудинка проживает 19,5 тыс. человек. Через порт Дудинки происходит как отгрузка продукции ПАО «Норильский никель», так и поставки большинства необходимых для компании и регионов товаров.

Сейчас Норильский регион более чем наполовину снабжается электроэнергией от ГЭС, оставшаяся электроэнергия вырабатывается на тепловых станциях (ТЭС), работающих на добываемом в регионе природном газе. Появление в Дудинке ПАТЭС (в исследовании будет рассматриваться «РИТМ-200М» с двумя реакторами по 55 МВт) позволяет выработать на ПАТЭС 850 тыс. МВт·ч электроэнергии и высвободить до 210 млн м<sup>3</sup> природного газа. Ежегодное сокращение выбросов парниковых газов может составить до 380 тыс. тонн CO<sub>2</sub>-эквивалента.

Рецензия эксперта на статью получена 12.07.2023 [The expert review of the article was received on July 12, 2023]

УДК 620.9. Научная специальность: 2.4.5 (05.14.01).

## Анализ эффективности ПАТЭС для портовых населённых пунктов арктической зоны на примере г. Дудинка

**В. А. Карасевич**, к.т.н., доцент; **В. И. Еникеева**, магистр; **А. Г. Салтанов**, к.э.н., доцент, кафедра (базовая) возобновляемых источников энергии, [Российский государственный университет нефти и газа \(НИУ\) им. И.М. Губкина \(Москва\)](#)

В статье рассматривается эффективность применения плавучих АЭС в системах энергоснабжения портовых городов Арктической зоны Российской Федерации. В связи с развитием территорий вдоль Северного морского пути повышается важность надёжного и низкоуглеродного энергоснабжения портов и других объектов, расположенных в арктической зоне России. На примере порта Дудинка показано, что применение тепла и электроэнергии атомной энергетики в составе энергосистем способно дать значительный экономический и экологический эффект.

**Ключевые слова:** энергетические системы, атомная энергетика, сжиженный природный газ (СПГ), плавучие АЭС, водород.

UDK 620.9. The number of scientific specialty: 2.4.5 (05.14.01).

## Analysis of efficiency of floating nuclear stations' usage for Arctic zone on the example of Dudinka town (Krasnoyarsk region)

**V. A. Karasevich**, PhD, Associate Professor; **V. I. Enikeeva**, Master's Degree; **A. G. Saltanov**, PhD, Associate Professor, Department (Basic) of Renewable Energy Sources, [National Research Gubkin Russian State University of Oil and Gas \(Moscow\)](#)

The article considers an efficiency of usage of floating nuclear power plants for Russian harbor towns' energy supply systems. Development of the territory along Northern Sea Route rise the importance of low-carbon energy supply of Russian Arctic zone's harbors and other objects. On the example of Dudinka harbor is shown that usage of nuclear heat and power can give significant economic and environmental effect.

**Key words:** energy systems, nuclear energy, liquefied natural gas (LNG), floating nuclear stations, hydrogen.

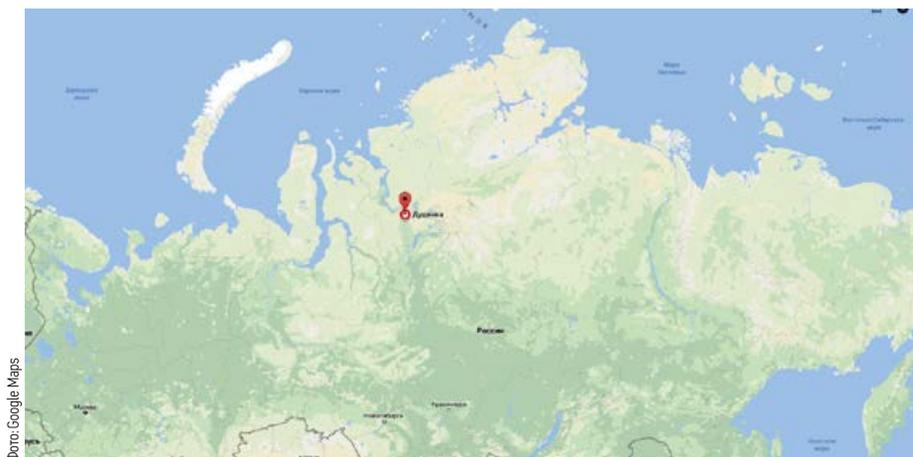


Рис. 1. Город Дудинка на карте Российской Федерации

Теплоснабжение Дудинки осуществляется за счёт котельной №7 (403 тыс. Гкал в 2022 году) и других котельных (46 тыс. Гкал), которые работают на природном газе, а в качестве резервного топлива используют мазут [3]. Котлоагрегаты котельной №7 сильно изношены (33–47 лет работы). Расход природного газа на котельных города при КПД, равном 90%, можно оценить в 50 млн м<sup>3</sup>, а выбросы парниковых газов от его сжигания можно оценить в 92,5 тыс. тонн СО<sub>2</sub>-эквивалента.

Освободившийся природный газ (260 млн м<sup>3</sup> в год) можно пустить на производство СПГ (по нашим оценкам, речь идёт об СПГ заводе мощностью 20 тонн в час или 185 тыс. тонн в год). Сам завод станет одним из потребителей электроэнергии ПАТЭС.

Предприятия «Норникеля» характеризуются высоким объёмом потребления жидкого топлива — дизеля и бензина. Основным потребителем дизеля являются железнодорожные локомотивы Норильской железной дороги, которая перевозит более 80% всех грузов в регионе (62 единицы и примерно 300 тыс. тонн дизеля в год) и карьерная техника (68 единиц и 8 тыс. тонн дизеля в год) [4]. Учитывая отсутствие эффективно работающих технологий по переводу карьерной техники на двухтопливный режим (дизель/газ), этот сегмент обладает отложенным потенциалом. Расстояние между портом Дудинка и Норильском по железной дороге составляет 114 км, следовательно, при строительстве СПГ завода в Дудинке на СПГ можно частично перевести локомотивы железной дороги «Дудинка — Норильск» (потенциал — до 300 тыс. тонн в год. После появления ПАТЭС котельные Дудинки переходят в резерв, и на них отпадает необходимость держать резервное мазутное топливо.

В регионе, заинтересованном в снижении углеродного следа, ПАТЭС может

заместить генерацию электроэнергии на природном газе. В свою очередь, замещаемый природный газ может стать сырьём для СПГ завода (ещё одного крупного потребителя электроэнергии ПАТЭС). Тепло ПАТЭС позволяет перевести в резерв котельные Дудинки и исключить в них обязательное наличие резервного топлива (мазута). Полученный СПГ может идти как на бункеровку судов, так и на перевод на СПГ локомотивы железной дороги «Дудинка — Норильск».

В результате возможен существенный экологический эффект за счёт снижения потребления неэкологичных дизельного топлива и мазута.

Одним из направлений использования уходящего с реактора тепла может быть производство «зелёного» водорода. Водород

### Необходимо планирование масштабируемых решений в части транспортного комплекса на основе атомно-водородной генерации для прилегающих территорий, вкпе с обоснованием снижения рисков и анализом возможности продления сроков эксплуатации реакторной части энергетического комплекса



род в Норильском регионе пока используется лишь в небольших объёмах для технологических нужд электростанций, однако возможно в перспективе рассмотреть частичный переход на него карьерной техники Норильского региона.

Экологический эффект от использования ПАТЭС может быть достигнут по трём направлениям: переход энергоснабжения с природного газа на энергию АЭС (ожидаемое снижение углеродного следа, по оценкам автора, составляет величину порядка 23,5 тыс. тонн при 50% загрузке ПАТЭС), перевод системы теплоснабжения Дудинки на тепло ПАТЭС (ожидаемое снижение углеродного следа оценивается в 87,9 тыс. тонн) и за счёт перевода железнодорожного транспорта с дизельного топлива на СПГ (потенциал снижения углеродного следа — 60 тыс. тонн).

Кроме того, на котельных Дудинки больше не будет мазута как резервного топлива, что устраняет риск его аварийных утечек.

В качестве направлений дальнейшего развития более глубокого анализа эффектов реализации комплексов атомно-водородной генерации в системах энергоснабжения удалённых территорий, в том числе портовых городов арктической зоны Российской Федерации, можно указать:

- планирование масштабируемых решений в части транспортного комплекса на основе атомно-водородной генерации для прилегающих территорий (грузо- и пассажирские перевозки для наземного и водного транспорта);
- обоснование снижения рисков и анализ возможности продления сроков эксплуатации с увеличением межремонтных интервалов для реакторной части энергетического комплекса за счёт уменьшения необходимости маневрирования при использовании балансирующих возможностей водородной системы компенсации;
- обоснование оптимальных параметров для линейки типовых систем атомно-водородной генерации в изолированных районах на базе существующих технологических решений. ●

1. Объекты генерации в изолированных и труднодоступных территориях в России: Доклад АЦ при Правительстве РФ. — М., 2020. 78 с.
2. Карасевич В.А., Родичкин И.Г. Какой может стать энергетика Арктики? [Электр. текст]. «Кислород.Life» от 25.12.2020. Режим доступа: kislorod.life. Дата обращения: 10.03.2023.
3. О внесении изменений в схему теплоснабжения города Дудинки: Постановление Администрации г. Дудинка от 23.05.2023 №60.
4. Родичкин И., Талипова А., Сун Дж., Ткаченко М., Карасевич В., Кирилкина И., Ишмуратова М. Среднетоннажный СПГ в России: между небом и землёй / Под ред. А. Климентьева, Т. Митровой, А. Собко. — М.: МШУ «Сколково», 2018. 102 с.

References — see page 78.

# Применение ВЭС для энерго-снабжения на нефтегазовых месторождениях России

Энергетический сектор и промышленная деятельность вносят значительный вклад в глобальное потепление за счёт выброса парниковых газов. Согласно данным Росстата [1], в 2020 году энергетический сектор ответственен примерно за 78 % глобальных выбросов парниковых газов от деятельности человечества. Большая часть этих выбросов приходится на сжигание ископаемого топлива для производства электроэнергии и транспорта, при этом основным парниковым газом (79,2%) является углекислый газ (CO<sub>2</sub>).

В энергосекторе больше 80% выбросов обусловлены сжиганием ископаемых топлив [1]. В нефтегазовой отрасли для энергоснабжения объектов часто применяется дизельное топливо и попутный нефтяной газ в случае морских объектов. Снижение доли энергетики в общей структуре выбросов CO<sub>2</sub> возможно в том числе за счёт применения ВИЭ для энергоснабжения объектов нефтегазовой отрасли. Ярким примером этого является оффшорная ветроэлектростанция Nuwind Tampen в Норвегии, мощностью 88 МВт. Данный проект ветроэнергетики поможет сократить использование энергии газовых турбин для морских месторождений Снурре (Snorre) и Гулфакс (Gulfaks), а также сократить выбросы CO<sub>2</sub> на 200 тыс. тонн и выбросы NO<sub>x</sub> на 1000 тонн в год [2].

## Описание предмета исследования

Для анализа применения энергии ветра в нефтегазовом секторе было рассмотрено месторождение имени Владимира Филановского, являющееся крупнейшим нефтяным месторождением в российской части дна Каспийского моря. Оно обладает уникальным геологическим строением, представленным высокопроницаемым коллектором, что позволяет получать значительные начальные дебиты [3].

Потребление электроэнергии на оффшорной платформе месторождения имени Филановского в 2022 году составило

**В энергосекторе больше 80% выбросов обусловлены сжиганием ископаемых топлив. Снижение доли энергетики в общей структуре выбросов CO<sub>2</sub> возможно в том числе за счёт применения ВИЭ для энергоснабжения объектов нефтегазовой отрасли**

131 101 тыс. кВт·ч. Основу энергетического комплекса составляют четыре модульные газотурбинные генераторные установки (ГТУ) Siemens, в частности, модель SGT-400, номинальная электрическая мощность каждой ГТУ составляет 12,4 МВт. Кроме того, на платформе установлена резервная дизель-генераторная установка мощностью 2 МВт. Совокупная мощность станции составляет 51,6 МВт [4].

Существующая система энергоснабжения месторождения, не оптимальна и приводит к значительным выбросам парниковых газов (табл. 1). Согласно [5], для месторождений нефти и газа актуальным являются три категории выбросов парниковых газов:

- стационарное сжигание газообразного, жидкого и твёрдого топлива;
- сжигание на факельных установках;
- проведение технологических операций, осуществляемых при разведке, добыче, переработке, подготовке, транспортировке, хранении нефти и газа.

## Стационарное сжигание топлива

В данную категорию включены выбросы диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) в атмосферу как следствие сжигания различных видов ископаемого топлива в турбинах различного типа. Необходимость сжигания топлива обусловлена потребностью организаций в выработке тепловой и электроэнергии. При этом в данной категории не учитываются потенциальные выбросы метана (CH<sub>4</sub>) и закиси азота (N<sub>2</sub>O).

Рецензия эксперта на статью получена 13.07.2023 [The expert review of the article was received on July 13, 2023]

УДК 658.26. Научная специальность: 2.4.5 (05.14.01).

## Применение ветроэнергоустановок для энергоснабжения на нефтегазовых месторождениях России

Тожибов Сарвар Тохир угли, магистрант, [Российский государственный университет нефти и газа \(НИУ\) им. И.М. Губкина \(Москва\)](#)

В данной статье проводится оценка экономической и экологической эффективности от возможного применения ветроэнергетических установок в составе энергосистем обеспечивающих энергоснабжение нефтяных месторождений в России. На примере месторождения имени Владимира Филановского ПАО «Лукойл» анализируются преимущества и возможности применения ветровой энергии в нефтегазовой индустрии с целью уменьшения выбросов парниковых газов и снижения негативного влияния на окружающую среду.

**Ключевые слова:** ветроэнергетика, углеродный след, энергоснабжение, нефтяные и газовые месторождения.

UDC 658.26. The number of scientific specialty: 2.4.5 (05.14.01).

## Using of wind power generation units for power supply at oil and gas fields in Russia

Tojibov Sarvar Tokhir ugli, Magister's Degree, [National Research Gubkin Russian State University of Oil and Gas \(Moscow\)](#)

This article evaluates the economic and environmental efficiency of the possible use of wind power plants as part of power systems providing energy supply to oil fields in Russia. Using the example of the oil and gas condensate field named after Vladimir Filanovsky of "Lukoil", PJSC, the advantages and possibilities of using wind energy in the oil and gas industry are analyzed in order to reduce greenhouse gas emissions and reduce the negative impact on the environment.

**Key words:** wind energy, carbon footprint, energy supply, oil and gas fields.

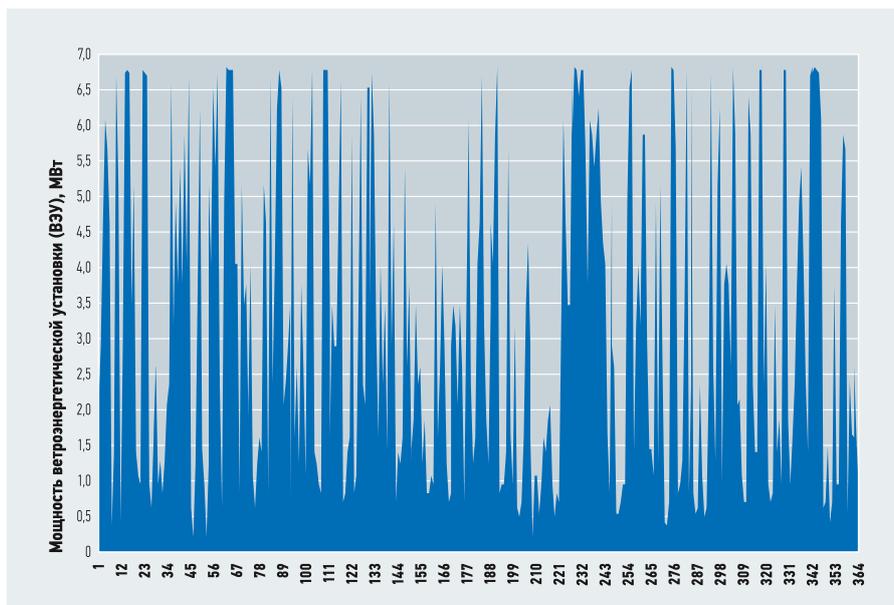


Рис. 1. График ежесуточной мощности ВЭУ

**Сжигание на факельных установках**

При сжигании природного и попутного нефтяного газов на факелах в атмосферу выбрасываются метан и углекислый газ. На факел газ направляют при аварийных ситуациях, во время пуска и остановки производственных объектов, при техническом обслуживании и гидрогазодинамических испытаниях. Хотя сжигание газа на факеле в определённых ситуациях может быть необходимо, в целом оно считается нежелательной практикой из-за негативного воздействия на окружающую среду. В этой категории выбросы азота учёту не подлежат.

**Проведение технологических операций, осуществляемых при разведке, добыче, переработке, подготовке, транспортировке, хранении нефти и газа**

Данная категория также называется «фугитивными выбросами». В эту категорию входят как преднамеренные, так и случайные выбросы CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в атмосферу, возникающие в результате различных технологических операций, связанных с добычей, транспортировкой, хранением и переработкой нефти, природного газа и подземной добычей угля. Технологические операции, способствующие образованию фугитивных выбросов в нефтегазовом секторе, включают продувку скважин, отвод газов из технологических

трубопроводов и оборудования, процессы дегазации, а также запуск, остановку и изменение режима работы газоперекачивающих агрегатов.

В табл. 1 представлены рассчитанные по [5] удельные выбросы парниковых газов на 1000 м<sup>3</sup> ПНГ.

**Анализ эффективности применения ветроэнергетики для энергосистемы месторождения**

Применение энергии ветра на рассматриваемом месторождении обусловлена высокими ветроэнергетическими ресурсами Каспийского моря. Согласно Global Wind Atlas, скорость ветра на высоте 100 м составляет 8,13 м/с [6].

В рамках проведённых исследований рассмотрено замещение ископаемого топлива за счёт применения сочетания дизельной генерации и ветрогенерации. При моделировании потребная мощность ветроэлектростанции составила 15 МВт, что покрывается за счёт двух ветроэнергостанций Dongfang Electric Corp. мощностью по 7,5 МВт (диаметр ротора 186 м, башня размером 110 м).

Проведённые ранее исследования [7] показывают, что в условиях Каспийского моря оптимальным вариантом фундамента, сметная стоимость которого достигает 30% от общих капитальных затрат [8, 9], является применение свай в количестве четырёх единиц.

Оценка выработки электроэнергии ВЭУ были выполнены на основе рассчитанных скоростей ветра на высоту оси ветроколеса по данным многолетних метеонаблюдений и кривой мощности ветроэнергостанции. График распределения годовой мощности для одной ВЭУ представлен на рис. 1.

**Рассмотрено замещение ископаемого топлива за счёт применения сочетания дизельной генерации и ветрогенерации. При моделировании потребная мощность ветроэлектростанции составила 15 МВт, что покрывается за счёт двух ветроэнергостанций Dongfang Electric Corp. мощностью по 7,5 МВт**

Годовая выработка ВЭС при заданных скоростях ветра с учётом потерь составит 56,3 млн кВт·ч. При этом расчётный коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) составит 42,8%. Освободившийся попутный нефтяной газ в полном объёме может быть отправлен на переработку на завод «Ставролен» в Ставропольском крае.

Применение ветровой энергетики приведёт к сокращению объёма выбросов CO<sub>2</sub> на 55 543 тонны в год, что, исходя из стоимости одной тонны CO<sub>2</sub>-эквивалента 2000 руб. [10], при реализации проекта как климатического даст возможность выпустить «зелёные сертификаты» на сумму 111,09 млн руб. в год.

Удельные выбросы CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> по категориям

табл. 1

Категория	Парниковый газ	Удельные выбросы, т
Стационарное сжигание газа на собственные нужды	CO <sub>2</sub>	2,529
Сжигание газа на факелах	CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub>	2,479 / 0,010
Фугитивные выбросы	CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub>	0,014 / 0,491

1. Охрана окружающей среды в России: Статистический сборник. — М.: Росстат, 2022. 115 с.
2. Hywind Tampen: the world's first renewable power for offshore oil and gas [Электр. текст]. Equinor ASA. Режим доступа: equinor.com. Дата обрац.: 01.05.2023.
3. Месторождение им. В. Филановского [Электр. текст]. ПАО «Лукойл». Режим доступа: lukoil.ru. Дата обрац.: 01.05.2023.
4. Месторождение имени Филановского — шаг в будущее [Электр. текст]. «Бизнес России» от 17.02.2017. Режим доступа: glavportal.com. Дата обрац.: 01.05.2023.
5. Об утверждении методик количественного определения объёмов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов: Приказ Минприроды России от 27.05.2022 №371.
6. Global Wind Atlas [Электр. текст]. Режим доступа: globalwindatlas.info/ru. Дата обрац.: 01.05.2023.
7. Бирюкова А.Л. Целесообразность применения ВЭУ при энергоснабжении нефтегазодобывающей платформы в Каспийском море // Журнал СОК, 2022, №4, С. 70–74.
8. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. 3-е изд., доп. — СПб.: Изд-во СПбПУ, 2016. 424 с.
9. Желанкин В.Г. Проектирование фундаментов ветроустановок. — М.: НИУ «МЭИ», 2021. 32 с.
10. О порядке определения платы за оказание оператором услуг по проведению операций в реестре углеводородных единиц: Постановление Правительства РФ от 30.03.2022 №518.

References — see page 78.

## HEATING, HOT WATER AND GAS SUPPLY

[On the formation of a database of a digital model of the building heat supply system. Pp. 32–35.](#)

**Sergey V. Guzhov**, PhD, Associate Professor, [National Research University "Moscow Power Engineering Institute" \(NRU "MPEI"\)](#); **Andrey A. Arbatsky**, PhD, General Director of the "Engineering Climate Systems and Electronics" Research Institute; **Daria V. Torop**, student, [NRU "MPEI"](#)

1. *SanPiN 1.2.3685–21* [Sanitary and Epidemiological Rules and Regulations of Russia (Russian Public Health Regulations) No. 1.2.3685–21]. *Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlja cheloveka faktorov sredy obitaniya (s Izm. na 30.12.2022)* [Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans (as amended of December 30, 2022)]. *Utv. postanovleniem Glavnogo gos. sanitarnogo vracha RF ot 28.01.2021 №2* [Approved by the Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation No. 2 of January 28, 2021]. [In Russian]
2. *GOST 30494–2011* [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 30494–2011]. *Zdaniya zhilye i obshchestvennye. Parametry mikroklimata v pomeshheniyakh* [Buildings residential and public. Indoor microclimate parameters]. Date of impl.: January 1, 2013. [In Russian]
3. *GOST 12.1.005–88* [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 12.1.005–88]. *Sistema standartov bezopasnosti truda. Obshhie sanitarno-gigienicheskie trebovaniya k vozdukhу rabochej zony (s Izm. №1)* [System of labor safety standards. General sanitary and hygienic requirements for the air of the working area (with Amendment No. 1)]. Date of impl.: January 1, 1989. [In Russian]
4. *SanPiN 2.1.3.2630–10* [Sanitary and Epidemiological Rules and Regulations of Russia (Russian Public Health Regulations) No. 2.1.3.2630–10]. *Sanitarno-jepidemiologicheskie trebovaniya k organizatsijam, osushhestvlyajushim meditsinskuyu dejatel'nost' (s Izm. na 27.11.2022)* [Sanitary and epidemiological requirements for organizations engaged in medical activities (as amended of November 27, 2022)]. *Utv. postanovleniem Glavnogo gos. sanitarnogo vracha RF ot 18.05.2010 №58* [Approved by the Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation No. 58 of May 18, 2010]. [In Russian]

[Modeling and research in Aspen HYSYS and COMSOL Multiphysics of the heating system by recovery of secondary energy resources of technological processes. Pp. 36–43.](#)

**Vladimir A. Suchilin**, Doctor of Technical Sciences, Professor; **Alexander S. Kochetkov**, senior lecturer; **Jana A. Kochetkova**, senior lecturer, [Russian State University of Tourism and Service \(RGUTS, dp, Cherkizovo, Moscow region\)](#)

1. *Iu.A. Moreva, M.M. Surovtsov, E.A. Panova. Razvitie raspredelnoy generatsii v mire i v Rossii* [Development of distributed generation in the world and in Russia]. *Zhurnal Santechnika, otoplenie, konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2020. No. 5. Pp. 42–53. [In Russian]
2. *Gasovye elektrostantsii: avtonomnyj istochnik jenerгии v bol'shom diapazone moshhnosti* [Gas power plants: Autonomous energy source in a large power range]. *RMNTRU*. Web-source: rmnt.ru. Access date: May 10, 2023. [In Russian]
3. *Mimi-TETs na prirodnom gaze* [Thermal power mini-plant on natural gas]. "Avtonomnyj JenergoServis", CJSC. Web-source: esist.ru. Access date: May 10, 2023. [In Russian]
4. M.H. Kim, J. Pettersen, C.W. Bullard. Fundamental process and system design issues in CO<sub>2</sub> vapor compression systems. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2004. Vol. 30. Issue 2. Pp. 119–174.
5. Zh. Qian. Innovative power generation systems using supercritical CO<sub>2</sub> cycles. *Clean Energy*. 2017. Vol. 1. No. 1 Pp. 68–79.
6. N. Rogalev, A. Rogalev, V. Kindra, O. Zlyvko, P. Bryzgunov. Review of closed sCO<sub>2</sub> and semi-closed oxy-fuel combustion power cycles for multi-scale power generation in terms of energy, ecology and economic efficiency. *Energies*. 2022. Vol. 15. Issue 23.
7. *V.A. Suchilin, A.S. Kochetkov, N.N. Gubanov. Modelirovanie i issledovanie v PO Aspen HYSYS i COMSOL Multiphysics funktsional'nykh kharakteristik teplovo nasosa dlja ob'ektov sotsial'noj infrastruktury* [Modeling and research in Aspen HYSYS and COMSOL Multiphysics functional characteristics of the heat pump for social infrastructure facilities]. *Zhurnal Santechnika, otoplenie, konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2023. No. 4. Pp. 60–67. [In Russian]
8. V.F. Ochkov. *Tsilk turbinnoy ustanovki na sverkhkriticheskom SO<sub>2</sub>* [Turbine plant cycle on supercritical CO<sub>2</sub>]. *Raschetnyj server NIU MPEI* [Moscow Power Engineering Institute, National Research University. The calculated server]. Web-source: twt.mpei.ac.ru. Access date: May 10, 2023. [In Russian]
9. W. Frei. Modeling a coil heat exchanger. Web-source: comsol.com. Access date: May 10, 2023.
10. Y. Ahn, S.J. Bae, M. Kim, S.K. Cho, S. Baik, J.L. Lee, J.E. Cha. Review of supercritical sCO<sub>2</sub> power cycles technology and current status of research and development. *Nuclear Engineering and Technology*. 2015. Vol. 47. Pp. 647–661.
11. D. Wu, M. Wei, R. Tian, S. Zheng, J. He. A review of flow and heat transfer characteristics of supercritical carbon dioxide under cooling conditions in energy and power systems. *Energies*. 2022. Vol. 15. Issue 23.
12. Quadrennial Technology Review 2015. Ch. 4: Advancing Clean Electric Power Technologies 4R. Super-critical carbon dioxide Brayton cycle. US Department of Energy. Web-source: energy.gov. Access date: May 10, 2023.

## AIR CONDITIONING AND VENTILATION

[On improving the accuracy of ventilation systems regulation through the use of artificial neural networks. Pp. 52–53.](#)

**Sergey V. Guzhov**, PhD, Associate Professor, [National Research University "Moscow Power Engineering Institute" \(NRU "MPEI"\)](#); **Andrey A. Arbatsky**, PhD, general director of the "Engineering Climate Systems and Electronics" Research Institute; **Daria V. Torop**, student, [NRU "MPEI"](#)

1. *RD 153-34.0-11.201-97* [Guideline of the Industry No. 153-34.0-11.201-97]. *Metodika opredeleniya obobshchennykh metrologicheskikh kharakteristik izmeritel'nykh kanalov IIS i ASU TP po metrologicheskim kharakteristikam agregatnykh sredstv izmerenij* [Method for determining the generalized metrological characteristics of measuring channels of information-measuring systems and automated process control systems according to the metrological characteristics of aggregate measuring instruments]. Moscow. *SPO ORGRJeS* ["All-Union State Trust for the Organization and Rationalization of District Power Plants and Electric Networks" (ORGRES) Commonwealth of Design Organizations]. 1999. [In Russian]

## ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

[Application of algorithms to ensure the reliability of power systems. Pp. 66–73.](#)

**Arsenij I. Velichko**, general director of "Smartren", LLC; **Mikhail S. Povernov**, technical director of "Delta P", LLC; **Nikolaj Shuvalov**, Master's Degree, [Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University \(SPbPU\)](#)

1. *Ob'ekty generatsii v izolirovannykh i trudnodostupnykh territorijakh v Rossii: Analiticheskij doklad ATs pri Pravitel'stve RF* [Generation facilities in isolated and hard-to-reach areas in Russia: The Report of the Analytical Center under the Government of the Russian Federation]. Moscow. 2020. 78 p. [In Russian]
2. *Da'niy Vostok i regiony Arktiki poluchat investitsionnuju kartu ob'ektov promyshlennoj raspredelnoy generatsii* [The Far East of Russia and the Russian regions of the Arctic will receive an investment map of industrial distributed generation facilities]. *RJeA Minjenergo Rossii ot 07.07.2023* [Russian Energy Agency of the Ministry of Energy of the Russian Federation of July 7, 2023]. Web-source: rosenergo.gov.ru. Access date: July 8, 2023. [In Russian]
3. A.A. Khan, M. Naem, I. Qbal, S. Qaisar, A. Anpalagan. A compendium of optimization objectives, constraints, tools and algorithms for energy management in micro-grids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016.
4. C. Wouters, E. Fraga, A. James. MILP approach for the design of residential microgrids with energy interactions restrictions. *Computer Aided Chemical Engineering*. 2015. Vol. 37. Pp. 2357–2362.
5. C. Delgado, J.A. Dominguez-Navarro. Optimal design of a hybrid renewable energy system. *Proc. of the 9th International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)*. Monte-Carlo, Monaco. March 25–27, 2014.
6. M.R.B. Khan, R. Jidin, J. Pasupuleti. Multi-agent based distributed control architecture for microgrid energy management and optimization. *Energy Conversion and Management*. 2016. Vol. 112. Pp. 288–307.
7. M.W. Khan, W. Jie. The research on multi-agent system for microgrid control and optimization. *Renewable and Sustainable Energy Review*. 2017. Vol. 80. Pp. 1399–1411.
8. S. Choukhi, L. Merghem-Boulahia, M. Essegir. Energy demand scheduling based on game theory for microgrids. *Proc. of the 2018 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. May 20–24, 2018. Kansas City, KCMO, USA.
9. A. Tavakoli, S. Saha, M.T. Arif, M.E. Haque, N. Mendis. Impacts of grid integration of solar PV and electric vehicle on grid stability, power quality and energy economics: A review. *The Institution of Engineering and Technology (IET) Digital Library*. 2020. Vol. 2. Issue 3. Pp. 243–260.
10. D.R. Nair, M.G. Nair, T. Thakur. A smart microgrid system with artificial intelligence for power-sharing and power quality improvement. *Energies*. 2022. Vol. 15. Issue 15.
11. El. Kuznetsova, Y.-F. Li, C. Ruiz, E. Zio, G. Ault, K. Bell. Reinforcement learning for microgrid energy management. *Energy*. 2013. Vol. 59. Pp. 133–146.
12. T.A. Nakabi, P. Toivanen. Deep reinforcement learning for energy management in a microgrid with flexible demand. *Sustainable Energy, Grids and Networks*. 2021. Vol. 25.
13. Y. Ji, J. Wang, J. Xu, X. Fang, H. Zhang. Real-time energy management of a microgrid using deep reinforcement learning. *Energies*. 2019. Vol. 12. Issue 12.
14. Y. Li, S. He, Y. Li, Y. Shi, Z. Zeng. Federated multi-agent deep reinforcement learning approach via physics-informed reward for multi-microgrid energy management. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*. January 3, 2023. 12 p.

[Analysis of efficiency of floating nuclear stations' usage for Arctic zone on the example of Dudinka town \(Krasnoyarsk region\). Pp. 74–75.](#)

**V.A. Karasevich**, PhD, Associate Professor; **V.I. Enikeeva**, Master's Degree; **A.G. Saltanov**, PhD, Associate Professor, Department (Basic) of Renewable Energy Sources, [National Research Gubkin Russian State University of Oil and Gas \(Moscow\)](#)

1. *Ob'ekty generatsii v izolirovannykh i trudnodostupnykh territorijakh v Rossii: Doklad ATs pri Pravitel'stve RF* [Generation facilities in isolated and hard-to-reach areas in Russia: The Report of the Analytical Center under the Government of the Russian Federation]. Moscow. 2020. 78 p. [In Russian]
2. V.A. Karasevich, I.G. Rodichkin. *Kakoj mozhet stat' jenergetika Arktiki?* [What can be the energy sector of the Arctic?]. "Oxygen.Life" of December 25, 2020. Web-source: kislorod.life. Access date: Mart 10, 2023. [In Russian]
3. *O vnesenii izmenenij v shemu teplosnabzheniya goroda Dudinka* [On making changes to the heat supply scheme of the city of Dudinka]. *Postanovlenie Administratsii g. Dudinka ot 23.05.2023 №60* [Decree of the Administration of the city of Dudinka No. 60 of May 23, 2023]. [In Russian]
4. I. Rodichkin, A. Talipova, J. Sun, M. Tkachenko, V. Karasevich, I. Kirilina, M. Ishmuratova. *Srednetonnazhnyj SPG v Rossii: mezhdu nebom i zemlej* [Medium-tonnage of liquefied natural gas (LNG) in Russia: between heaven and earth]. Edited by A. Klimentev, T. Mitrova, A. Sobko. Moscow. *MShU "Skolkovo"* [Skolkovo School of Management]. 2018. 102 p. [In Russian]

[Using of wind power generation units for power supply at oil and gas fields in Russia. Pp. 76–77.](#)

**Tojiboev Sarvar Tokhir ugli**, Magister's Degree, [National Research Gubkin Russian State University of Oil and Gas \(Moscow\)](#)

1. *Ohrana okruzhajushhej sredy v Rossii: Statisticheskij sbornik* [Environmental protection in Russia: A statistical compendium]. Moscow. *Rosstat* [Federal State Statistics Service (Rosstat)]. 2022. 115 p. [In Russian]
2. Hywind Tampen: the world's first renewable power for offshore oil and gas. *Equinor ASA*. Web-source: equinor.com. Access date: May 1, 2023.
3. *Mestorozhdenie im. V. Filanovskogo* [Oil and gas condensate field named V. Filanovsky]. "Lukoil", PJSC. Web-source: lukoil.ru. Access date: 01.05.2023. [In Russian]
4. *Mestorozhdenie imeni Filanovskogo — shag v budushhee* [Oil and gas condensate field named after V. Filanovsky: A step into the future]. "Russia Business" of February 17, 2017. Web-source: glavportal.com. Access date: May 1, 2023. [In Russian]
5. *Ob utverzhdenii metodik kolichestvennogo opredeleniya ob'emov vybrosov parnikovyykh gazov i pogloshhenij parnikovyykh gazov* [On the approval of methods for quantifying greenhouse gas emissions and greenhouse gas removals]. *Priraz. Minprirody Rossii ot 27.05.2022 №371* [Order of the Ministry of Natural Resources of Russia No. 371 of May 27, 2022]. [In Russian]
6. Global Wind Atlas. Web-source: globalwindatlas.info.ru. Access date: May 1, 2023. [In Russian]
7. *A.L. Bitrjukova. Tselosobraznost' primeneniya VLeU pri jenergosnabzhenii neftegazodobyvajushhej platformy v Kaspijskom more* [The feasibility of using wind turbines in the energy supply of an oil and gas production platform in the Caspian Sea]. *Zhurnal Santechnika, otoplenie, konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2022. No. 4. Pp. 70–74. [In Russian]
8. V.V. Elistratov. *Vozobnovljajemaja jenergetika* [Renewable energy]. 3rd edition, rev. St. Petersburg. *Izd-vo SPbPU* [Publishing House of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (Polytech)]. 2016. 424 p. [In Russian]
9. V.G. Zhelankin. *Proektirovanie fundamentov vetroturbinovok* [Design of foundations for wind turbines]. Moscow. *NIU "MPEI"* [Moscow Power Engineering Institute]. 2021. 32 p. [In Russian]
10. *O porjadke opredeleniya platy za okazanie operatorom uslug po provedeniju operatsij v reestre uglerodnykh edinit* [On the procedure for determining the fee for the provision by the operator of services for conducting operations in the register of carbon units]. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 30.03.2022 №518* [Decree of the Government of the Russian Federation No. 518 of Mart 30, 2022]. [In Russian]

XXVI МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

31 ОКТЯБРЯ - 3 НОЯБРЯ 2023

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, ЭКСПОФОРУМ

**РОС  
ГАЗ  
ЭКСПО**



В РАМКАХ XII ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕЖДУНАРОДНОГО  
ГАЗОВОГО ФОРУМА



ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА:



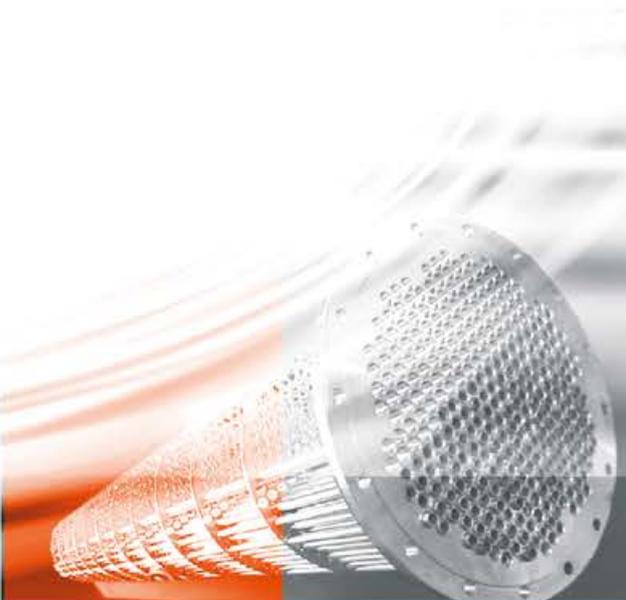
[www.rosgasexpo.ru](http://www.rosgasexpo.ru)



На правах рекламы.

**24–26 ОКТЯБРЯ 2023**  
МОСКВА, МВЦ «КРОКУС ЭКСПО»

**HEAT&POWER**



**8-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА  
ПРОМЫШЛЕННОГО КОТЕЛЬНОГО, ТЕПЛООБМЕННОГО  
И ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ**



Организатор



Международная  
Выставочная  
Компания

+7 (495) 252 11 07  
heatpower@mvk.ru



**ЗАБРОНИРУЙТЕ СТЕНД**  
[heatpower-expo.ru](http://heatpower-expo.ru)

0+

2-я Международная выставка оборудования,  
технологий и услуг для вентиляции,  
кондиционирования и холодоснабжения бытовых,  
коммерческих и промышленных объектов



- 5 068 уникальных посетителей из 73 регионов и 11 стран
- 14 323 посетителя выставки Aquatherm Moscow также планировали посещение выставки AIRVent 2023
- 72% посетителей AIRVent планируют закупить продукцию участников\*

Одновременно с крупнейшей в России выставкой комплексных инженерных решений для отопления, водоснабжения, канализации и бассейнов

aqua  
THERM  
MOSCOW

6-9.02.2024  
Москва, Крокус Экспо  
[airventmoscow.ru](http://airventmoscow.ru)

Узнать условия  
участия



**АРЕНДА  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ИНСТРУМЕНТА**



**БОЛЕЕ 23 000 SKU  
В НАЛИЧИИ НА СКЛАДЕ**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, МОНТАЖ, СЕРВИС,  
ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ**

**ДОСТАВКА ГРУЗОВ  
ПО ВСЕЙ РОССИИ**



**52** ФИЛИАЛА

**36**  
ГОРОДОВ

**ПРОГРАММА ЛОЯЛЬНОСТИ  
ДЛЯ МОНТАЖНИКОВ**

- Особые условия и скидки в личном кабинете
- Начисление бонусов с каждой покупки
- Оплата товаров бонусами

[lunda.ru](http://lunda.ru)

