



ru.depositphotos.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

тепловые насосы (ТН),
жилые и общественные здания,
выбросы углерода,
декарбонизация,
электроэнергия,
системы отопления,
вентиляции и кондиционирования
воздуха (ОВК),
возобновляемые источники
энергии (ВИЭ)

КАК ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ ЗДАНИЯ МОЖЕТ ТРАНСФОРМИРОВАТЬ СИСТЕМЫ КЛИМАТИЗАЦИИ¹

Питер Рамси, Джорлин ле Гаррек, Аврил Левассер

В Америке на территориях с умеренным и холодным климатом наблюдается повышенный интерес к теплонасосным системам, которые представляют собой эффективную альтернативу традиционным электрическим котлам. Рассмотрим возможность установки тепловых насосов при реконструкции зданий, в условиях низкой температуры окружающей среды и другие аспекты их применения.

Реконструкция существующих зданий

Использовать тепловые насосы (ТН) в новом строительстве проще, чем внедрять их в уже существующие здания. Лучший момент для установки ТН в эксплуатируемое здание — плановый ремонт внутренних инженерных систем, включающий замену большей части системы ОВК. Однако серьезной проблемой при переводе существующих зданий на полностью электрические системы отопления является повышение требований к электроснабжению.

Потребности в отоплении, которые ранее обеспечивались за счет централизованного теплоснабжения и магистрального природного газа, теперь покрываются с использованием электроэнергии, которая уже расходуется на освещение и другое электрооборудование. При проектировании электрических схем потребуется наличие резервной мощности. Однако большинство зданий потребляют в реальности электрической мощности меньше, чем было заявлено. Обычно этого буфера более чем достаточно, чтобы покрыть дополнительную электрическую нагрузку, необходимую тепловому насосу.

¹ Начало статьи читайте в журнале «Энергосбережение» № 2-2022.

Питер Рамси (Peter Rumsey), P. E., генеральный директор Point Energy Innovations в Сан-Франциско, соучредитель Stanford Building Decarbonization Learning Accelerator в Стэнфорде, Калифорния, Fellow ASHRAE

Джорлин ле Гаррек (Jorlyn le Garrec), инженер проекта, ассоциационный член ASHRAE

Аврил Левассер (Avril Lévasseur), P. E., младший инженер Point Energy Innovations в Сан-Франциско, ассоциационный член ASHRAE

Там, где электрической мощности системы не хватает, при проектировании системы выбираются более высокоэффективные системы, а также задействуются возможности аккумулирования энергии и кольцевые схемы распределения нагрузки с системами охлаждения. Для коммерческих зданий, переходящих на систему VRF, или для жилых зданий, в которых уже есть охлаждение, переход на кондиционер с тепловым насосом или многозонную сплит-систему обычно приводит к незначительному увеличению электрических нагрузок или совсем не увеличивает их. В более крупных зданиях аккумулятор теплоты в сочетании с тепловыми насосами позволяет использовать меньшее количество тепловых насосов, что приводит к снижению пиковых электрических нагрузок.

Иногда может потребоваться значительное увеличение мощности электроснабжения, что очень трудоемко и дорого. Долгосрочное планирование в сочетании с внедрением энергосберегающих мероприятий, а также повышение плотности проживания или арендной платы могут компенсировать эти затраты.

Воздушные тепловые насосы в условиях низкой температуры окружающей среды

Ранее ограничивающим фактором применения воздушных тепловых насосов была низкая температура окружающей среды. Однако технология тепловых насосов сейчас продвинулась до такой степени, что они могут работать практически при любых температурах наружного воздуха, кроме очень низких.

В табл. 1 показаны нижние пределы эксплуатации тепловых насосов, доступных в настоящее время на рынке. В этой области в ближайшие годы ожидается значительный прогресс.

Доступной в настоящее время продукции уже более чем достаточно для любого климата, кроме самого холодного. Согласно табл. 2, за пределами Миннесоты и Аляски высоко-

Таблица 1 Пределы низких температур в зависимости от типа оборудования

Тип оборудования	Нижний предел температуры, °C
Тепловой насос R-32	-15
Тепловой насос R-134a	-20
CO ₂ -тепловой насос	-29
Высокоэффективный VRF	-30

эффективная система VRF надлежащего размера должна быть в состоянии полностью покрыть потребности в отоплении. Эти системы обычно также доступны с резервным электрокалорифером для работы в экстремальные дни.

Ограничение использования тепловых насосов при низких температурах окружающей среды в настоящее время сводится к их относительно небольшой производительности. Но это незначительная проблема для систем VRF, учитывая их модульный характер. Однако для более крупной централизованной системы могут потребоваться дополнительные расходы и место.

Оценка энергетических и углеродных воздействий исследуемых систем

Анализ для исследуемых типов систем был выполнен с помощью стандартной отраслевой программы моделирования энергопотребления EnergyPlus версии 9.1. В анализе учтены погодные данные, взятые с сайта EnergyPlus Weather Data. Геометрия здания для всех систем была создана с использованием коммерческого эталонного здания среднего офиса Министерства энергетики США. Все вводы в здание (кроме систем отопления, вентиляции и кондиционирования и горячего водоснабжения (ГВС)) для разных типов систем оставались одинаковыми, и все модификации по сравнению с первоначальным прототипом здания министерства энергетики описаны ниже. Системы ОВК и ГВС были изменены по сравнению с первоначальным прототипом здания для сравнения четырех различных типов систем.

Погода и местоположение

Каждая система была смоделирована в восьми городах (рис. 1). Они были выбраны так, чтобы продемонстрировать производительность системы в максимально широком диапазоне климатических условий. Тарифы на коммунальные услуги для конкретного города определялись годовыми затратами на электроэнергию.

Таблица 2 Часы в год при каждой температуре по городам

Город	Часов в год ниже -15 °C	Часов в год ниже -29 °C
Фэрбенкс, штат Аляска	2 177	130
Дулут, штат Миннесота	676	12
Хелена, штат Монтана	188	0
Миннеаполис	387	5
Боулдер, штат Колорадо	120	0
Чикаго	163	0
Денвер	25	0
Нэшвилл, штат Теннесси	0	0
Нью-Йорк	0	0
Сиэтл	0	0

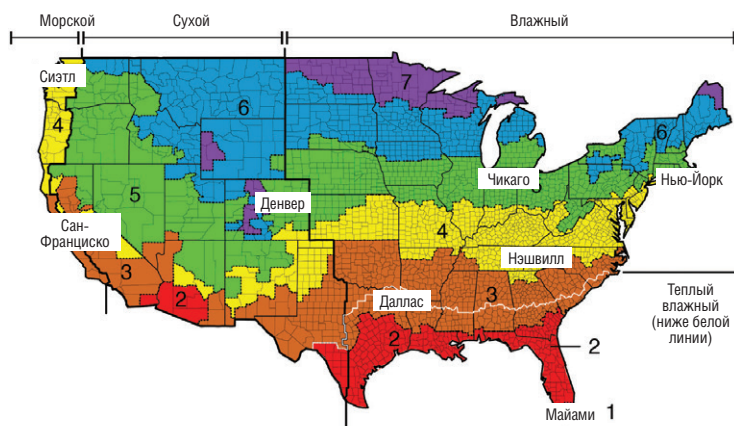


Рис. 1. Климатическая карта с указанием городов, участвующих в энергетических моделях

Базовая модель

Базовая модель создана на основе коммерческого эталонного прототипа среднего офиса Министерства энергетики США (далее – Эталон). Основные параметры здания сохранялись, но некоторые входные данные были изменены, чтобы лучше представить типичную конструкцию здания и условия эксплуатации. В исходные параметры Эталона были внесены следующие изменения:

- Отношение площади окон к стенам в базовом здании было увеличено с 33 до 60 %, что более типично для офисных зданий, возводимых сегодня.
- Нагрузка на лифт для Эталона была очень высокой, уменьшена до двух тяговых лифтов.

- Система ОВК, вместо ночных отключений, была изменена так, чтобы быть «доступной», чтобы можно было использовать уставки в режиме эксплуатации (помещение занято) и дежурном режиме (помещение не занято). Уставки в режиме эксплуатации: нагрев 21 °С, охлаждение 23 °С. Уставки в дежурном режиме: нагрев 18 °С и охлаждение 26 °С. Часы работы с 8:00 до 18:00 с понедельника по пятницу, а также по субботам, но с более низкими значениями занятости.

Типы систем

Выбраны четыре общих типа систем для сравнения (табл. 3 и рис. 2).

Тип 1 – традиционная система воздушного отопления, совмещенного с вентиляцией, на основе VAV с горячей водой, обеспечиваемой центральным газовым водогрейным котлом. Эта система очень распространена, особенно в условиях холодного климата.

Тип 2 – аналогичная система воздушного отопления на основе VAV, однако в ней горячая вода подается от центрального теплового насоса, использующего в качестве низкопотенциального источника теплоты наружный воздух.

Тип 3 – система отопления/охлаждения на основе VRF с выделенной приточной установкой.

Тип 4 – та же традиционная система воздушного отопления на основе VAV, но с электрическим калорифером вместо горячей воды.

Оборудование ОВК было автоматически настроено для соответствия требуемым нагрузкам здания. Часы необеспеченности всех зданий не превышали 300 ч в соответствии со стандартом ASHRAE 90.1–2016, приложение G.

Таблица 3 Входные данные энергетической модели

Параметр	Прототип модели	Газовый котел	Тепловой насос	VRF	Электрокалорифер
Описание	Стандартный агрегат VAV с газовым нагревом и электрокалорифером второго подогрева	Стандартный агрегат VAV с газовым водогрейным котлом	VAV с с тепловым насосом «воздух-вода»	Обособленная приточная установка с блоком VRF	VAV с электрокалорифером
ОВК					
Наружный воздух	Приточно-вытяжная установка с VAV			Выделенная приточная установка	Приточно-вытяжная установка с VAV
Экономайзер	Да (отключение по верхнему пределу 24 °С)			Нет	Да (отключение по верхнему пределу 24 °С)
Источник теплоты	Газовый калорифер	Газовый водогрейный котел	Тепловой насос «воздух-вода»	Наружный блок VRF с воздушным охлаждением	Электрокалорифер
COP, нагрев	0,80	0,80	2,82	3,40	1,00
Источник охлаждения	Змеевик охлаждения			Наружный блок VRF с воздушным охлаждением	Змеевик охлаждения
COP, охлаждение	3,64	3,64	3,64	3,15	3,64
ГВС					
Тип системы ГВС	Котел на природном газе		Тепловой насос «воздух-вода»		
Эффективность ГВС	0,80	0,80	2,82	2,82	2,82
Температура контура ГВС	60 °С	60 °С	60 °С	60 °С	60 °С

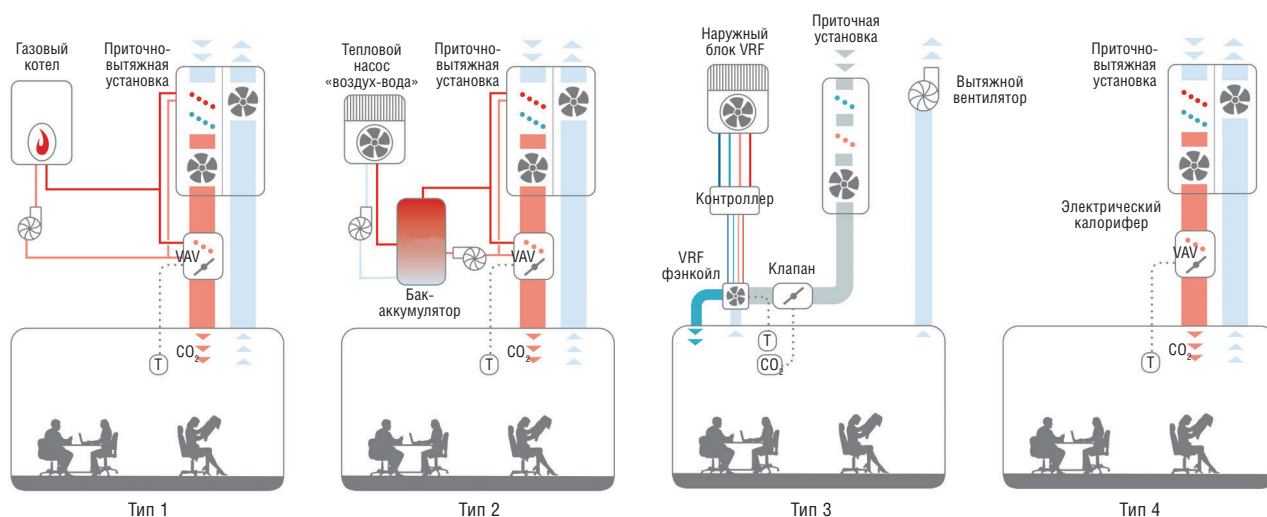


Рис. 2. Типы систем ОВК, используемые в энергетических моделях

Результаты моделирования

Было определено энергопотребление, стоимость энергии и количество выбросов углерода для каждого из четырех типов систем в восьми выбранных городах.

Энергетические результаты

Энергетическое исследование (рис. 3а) предсказуемо показывает, что водогрейный газовый котел потребляет больше всего энергии по сравнению с другими вариантами, поскольку газовый котел менее эффективен, чем его полностью электрические аналоги.

Во всех климатических условиях система с электрокалорифером занимает второе место по энергопотреблению. Хотя электрокалорифер более энергоэффективен, чем водогрейный газовый котел, его коэффициент преобразования COP

составляет всего 1, что делает его менее эффективным, чем система теплового насоса.

Система с тепловым насосом и система на основе VRF показывают схожие результаты, при этом VRF в большинстве городов, за исключением Сан-Франциско, опережает другие типы по критерию наименьшего энергопотребления. Вероятно, это связано с преимуществами работы экономайзера в воздушной зоне, который есть у кондиционера, по сравнению с выделенным блоком наружного воздуха в мягком климате. Очевидно, что полностью электрические варианты обеспечивают экономию энергии в любом климате.

Затраты на энергию

Системы электрических тепловых насосов конкурентоспособны с котлами, работающими на природном газе, в большинстве городов США (рис. 3б). Стоимость при-

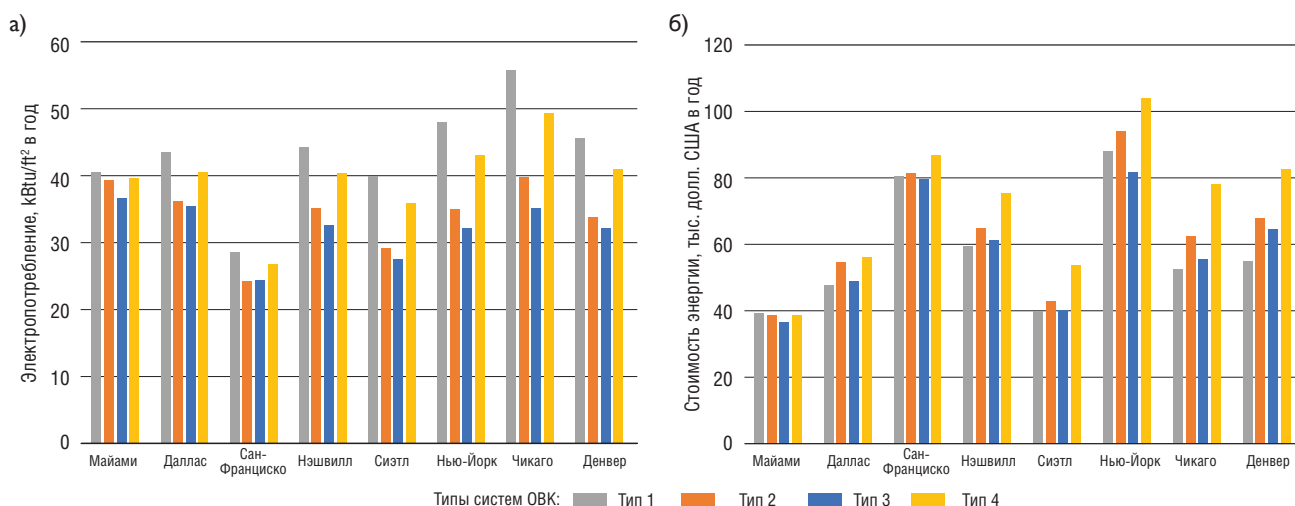


Рис. 3. Результаты энергомоделирования для зданий с различными типами ОВК, расположенных в различных климатических условиях: а) энергопотребление зданий, б) финансовые затраты

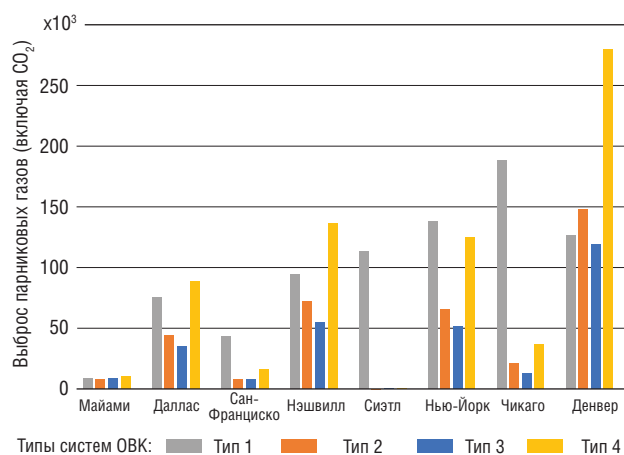


Рис. 4. Выбросы углерода при теплоснабжении зданий в различных климатических условиях

родного газа широко варьируется в разных штатах и является ключевым фактором, определяющим относительную конкурентоспособность затрат. В городах, где стоимость газа высока, таких как Майами и Сан-Франциско, системы с тепловыми насосами могут быть дешевле в эксплуатации, чем бойлеры. Только в одном из восьми рассматриваемых городов, Майами, электрические бойлеры оказались конкурентоспособными, отчасти из-за очень низких тепловых нагрузок в данном климате. Подтвердилось более низкие затраты на энергию систем VRF по сравнению с системами VAV с горячей водой с тепловым насосом, поскольку системы VRF способны устранять необходимость догрева воздуха, обеспечивая рекуперацию теплоты в течение части года.

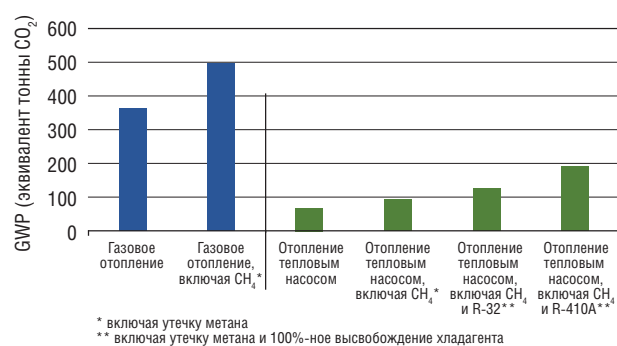
Выбросы углерода

Многие считают, что при сжигании ископаемого топлива в месте энергопотребления будет выделяться меньше углерода по сравнению с эквивалентным потреблением электроэнергии от центральных электростанций из-за их низкой эффективности и потерь при передаче. Полученные результаты (рис. 4) показывают обратное: полностью электрические системы с тепловыми насосами в реальности производят меньше углерода, чем газовые альтернативы, установленные в домах. Это снижение справедливо для тепловых насосов во всех городах, за исключением Денвера, где много угля в энергосистеме. Уменьшение углерода особенно заметно для тепловых насосов и VRF, которые потребляют меньше энергии, чем электрокалориферы.

Прочие соображения

Здания, потребляющие только электроэнергию, существуют уже давно. Сегодня упор делается лишь на то, чтобы здания стали энергоэффективными и использовали безуглеродные источники электроэнергии. Доступная по цене возобновляемая энергия и тепловые насосы – это два важнейших компонента, которые дают такую возможность.

Самая большая проблема для повсеместного внедрения декарбонизации – наличие существующих зданий с высоким



* включая утечку метана
** включая утечку метана и 100%-ное высвобождение хладагента

Рис. 5. Потенциал глобального потепления (GWP) при отоплении офисного здания в Сан-Франциско за 20 лет. Варианты отопления с тепловыми насосами включают выбросы CO₂, образующиеся в результате потребления электроэнергии

углеродным следом. Трудно представить, как в высотных зданиях Нью-Йорка можно установить тепловые насосы. Однако 90 % коммерческих и 65 % жилых зданий в городе насчитывают один-два этажа. Для таких полностью электрических зданий, которых много по всей стране и в которых установлено оборудование HVAC с ожидаемым сроком службы 20 лет, вполне возможно быстрое внедрение декарбонизации в ближайшие два десятилетия.

Выводы

В настоящее время производители предлагают множество вариантов тепловых насосов, которые могут заменить газовые системы отопления: от автономных водонагревателей с тепловым насосом до крупных централизованных тепловых насосов или чиллеров с рекуперацией тепла. В этих системах используется широкий спектр хладагентов, включая такие, как R-32 и R-744 – с более низким потенциалом глобального потепления (GWP, CO₂). В зависимости от используемого хладагента тепловые насосы могут работать в большинстве холодных регионов США.

Тепловые насосы снижают выбросы парниковых газов во всех электрических сетях, кроме максимально углеродоемких. ТН производят меньше выбросов углерода даже при потреблении электроэнергии, вырабатываемой при сжигании природного газа. С учетом того, что 12 штатов и 160 городов США поставили официальную цель по обеспечению 100 %-но безуглеродного электричества к 2050 году или ранее, очевидно, что тепловые насосы станут чистым источником тепла для зданий в США в будущем. ■

Статья публикуется с разрешения редакции ASHRAE Journal. Оригинал статьи «How Building Decarbonization Can Transform HVAC» опубликован в ASHRAE Journal, сентябрь 2021 г. ASHRAE не несет ответственности за точность перевода. Для того чтобы приобрести издание на английском языке, обратитесь в ASHRAE: 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329–2305 USA, www.ashrae.org