

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

тепловые насосы, 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 КЛИМАТИЗАЦИИ

Питер Рамси, Джорлин ле Гаррек, Аврил Левассер

В ряде штатов Америки заявлена амбициозная цель – к концу 2050 года генерировать электроэнергию только из источников с нулевыми выбросами углерода. Для достижения этой цели принимаются соответствующие законодательные требования. Лидирует в этих вопросах Калифорния, в которой 28 городов приняли требования использования зеленого электричества для нового строительства, а еще 50 городов и округов работают в этом направлении. Там, где отопительные нагрузки невелики, уже используются электрические отопительные приборы, а на территориях с умеренным и холодным климатом наблюдается повышенный интерес к системам тепловых насосов, которые представляют собой эффективную альтернативу традиционным электрическим отопительным приборам. Рассмотрим теплонасосные установки как один из способов снижения углеродного следа здания, который в перспективе может изменить системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВК).

На здания в США приходится 40 % выбросов углерода, из которых большая часть (80 %) образуется при производстве электроэнергии, а оставшаяся – при сжигании ископаемого топлива для отопления здания и других целей. Поэтому наблюдается активный переход на получение электроэнергии из чистых источников с нулевыми выбросами углерода. Так, Duke Energy, одна из крупнейших энергетических компаний США, обязалась к 2050 году получать 100 % энергии из источников с нулевыми выбросами углерода. Кроме того, многие крупнейшие корпорации США, включая Apple, Microsoft, Kohl's, Walmart и Bank of America, взяли на себя обязательства достичь углеродной нейтральности или получать электроэнергию из безуглеродных источников, а именно из энергии солнца и ветра.

Конечно, здания, использующие для отопления природный газ и другие ископаемые виды топлива, останутся источником выбросов углерода. Однако поскольку безуглеродного электричества появляется все больше, многие начинают рассматривать варианты обеспечения зданий теплом только за счет зеленого электричества. Здание, использующее в процессе эксплуатации только электрическую энергию, полученную из возобновляемых или безуглеродных источников, считается декарбонизированным.

Помимо «эксплуатационного углерода» здания содержат «воплощенный углерод» – это сумма выбросов парниковых газов, образуемых при производстве материалов и в процессе строительства здания на протяжении всего его жизненного цикла. Конечно, целью декарбонизации является сокращение выбросов как воплощенного, так и эксплуатационного углерода, однако воплощенный углерод – это единоразовый выброс в процессе строительства, тогда как эксплуатационный углерод выделяется постоянно. Поэтому объемы эксплуатационного углерода, образующегося в течение 50-летнего срока службы здания, значительно превосходят количество воплощенного. Далее рассмотрим только эксплуатационный углерод.

Углеродный след электросетей

Простота или сложность проведения декарбонизации здания во многом зависит от местной электросети. Владелец здания может принять решение отказаться от использования энергии из ископаемого топлива и установить фотоэлектрические (PV) панели, однако он не способен контролировать источник энергии на уровне генерирующей компании. В зависимости от электросети существуют три возможных сценария снижения углеродного следа здания.

Сценарий I: углеродоемкая электросеть

Многие электрические сети по-прежнему сильно зависят от ископаемого топлива. Так, в США более 62 % выработки электроэнергии на коммунальные нужды основано на ископаемом топливе. За последнее десятилетие повышение эффективности электростанций и переход на более доступный природный газ вместо угля привели к снижению выбросов

ОБ АВТОРАХ

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 Levasseur), P.E., младший инженер Point Energy Innovations в Сан-Франциско, ассоциационный член ASHRAE

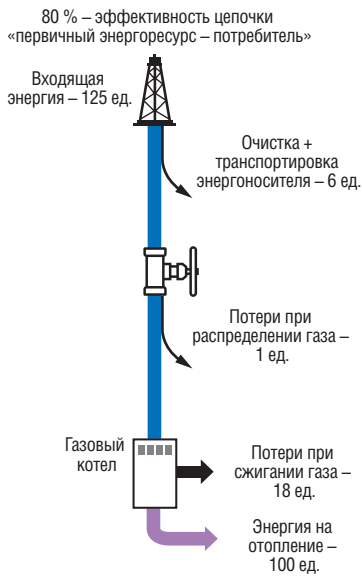
углерода при производстве электричества. Переход с газового котла на тепловой насос, даже в Миссисипи, где в основном используется электричество, получаемое сжиганием природного газа, все равно снизит выбросы. Для электросети, которая на 100 % работает на природном газе (рис. 1), системы отопления с тепловым насосом (рис. 1б) приведут к сокращению выбросов углерода на 22 % по сравнению с локальными газовыми котлами (рис. 1а).

В районах, которые в значительной степени зависят от электроэнергии на основе ископаемого топлива, владельцы зданий имеют возможность установить гелиосистемы. В некоторых штатах есть возможность напрямую покупать возобновляемую энергию либо у оптовых поставщиков, либо у поставщиков «энергии выбора сообщества» (community choice aggregation, CCA)¹. Другие варианты устранения выбросов углерода – это покупка кредитов на возобновляемые источники энергии (ВИЭ) или углеродных кредитов для компенсации выбросов. Сертификаты возобновляемой энергии (renewable energy certificate, REC) выдаются для генерируемой возобновляемой энергии, но не привязаны к конкретному месту. Приобретая углеродные кредиты, физическое лицо или компания, по сути, финансирует проекты по сокращению выбросов углерода, чтобы компенсировать свои собственные выбросы.



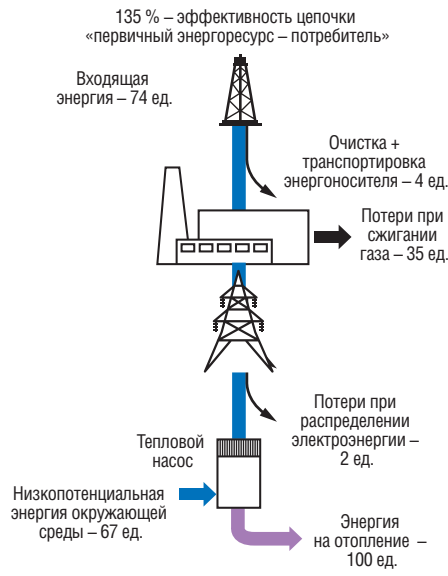
¹ Агрегация выбора сообщества, также известная как энергия выбора сообщества, муниципальная агрегация, правительственная агрегация, агрегация электроэнергии и агрегация сообщества, – это альтернатива системе коммунального энергоснабжения, принадлежащей инвестору, в которой местные организации в Соединенных Штатах объединяют покупательную способность отдельных клиентов в пределах определенной юрисдикции для обеспечения контрактов на поставку альтернативной энергии.

А. Природный газ от источника



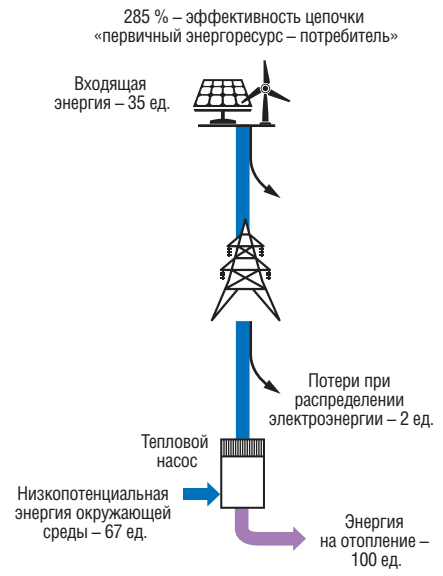
203 lb CO₂/MMBtu of Heat

Б. Электросеть на природном газе



158 lb CO₂/MMBtu of Heat

В. Электросеть на возобновляемых безуглеродных источниках энергии



Без углерода

Расчеты углеродоемкости сети включают следующие допущения: значение выбросов природного газа 117 фунтов CO₂/MMBtu (миллион BTU, примерно соответствует 1 млн м³ природного газа), скорость утечки метана 2,3 %, коэффициент теплопроводности воздушного теплового насоса 3, КПД газового котла 90 %, метановый потенциал глобального потепления – 84 (поскольку метан обладает большим потенциалом глобального потепления по сравнению с CO₂, было сделано предположение, что метан в 84 раза сильнее воздействует на глобальное потепление, чем CO₂).

Рис. 1. Схемы электросетей различной углеродоемкости

Сценарий 2: энергосистема с низким содержанием углерода

Во многих штатах США в настоящее время электросеть представляет собой комбинированную систему: предлагает электроэнергию, получаемую и на основе углерода, и из ВИЭ. В этом сценарии, даже если в здании нет потребления газа, оно без дополнительного вмешательства никогда не станет полностью углеродно-нейтральным. Например, обеспечить углеродную нейтральность владелец здания может либо установив на месте ВИЭ для компенсации энергопотребления, либо присоединившись к CCA или аналогичным программам выбора потребителя, которые используют безуглеродную электроэнергию, либо напрямую покупая возобновляемую энергию (доступную для крупных потребителей на нерегулируемых рынках) или REC.

Сценарий 3: безуглеродная электросеть

Здания с нулевым потреблением энергии (net zero energy buildings), в которых используется фотоэлектрическая энергия, полностью компенсирующая электропотребление, можно легко декарбонизировать, если перевести все инженерные системы здания на электричество. К сожалению, по разным причинам зданию не всегда хватает вырабатываемой ВИЭ электроэнергии, и тогда помогут электросетевые компании, предлагающие зеленое электричество. Благодаря этому здания, оборудованные только электрическими системами, считаются безуглеродными.

Электросетевые компании, которые обязались ликвидировать выбросы углерода при производстве электроэнергии к 2050 году, будут использовать сочетание солнечной, гидро-, ветровой, геотермальной и, при необходимости, ядерной энергии в сочетании с батареями и тепловыми аккумуляторами для удовлетворения спроса на электроэнергию в дневное и ночное время. Сегодня предлагаются варианты 100 %-но возобновляемой или безуглеродной электроэнергии по несколько более высоким тарифам.

Тепловые насосы для отопления помещений

Существующие типичные системы ОВК могут быть заменены альтернативными системами, в которых для отопления используются тепловые насосы. Иногда тепловыми насосами заменяют только отопительные котлы. Но наиболее рентабелен вариант, когда компрессорная система предназначена для обеспечения как нагрева, так и охлаждения, как в случае с системами с переменным потоком хладагента (variable refrigerant flow, VRF). В этих системах реверсивный клапан изменяет направление потока хладагента, чтобы обеспечить обогрев и охлаждение в здании.

Рынок тепловых насосов в США расширяется, и на нем появляются новые системы, многие из которых поставляются из Азии и Европы. При снижении стоимости увеличилось качество и количество доступных опций. В большинстве случаев

переход на системы с тепловым насосом будет происходить, когда здание только строится или когда подвергается капитальному ремонту, в ходе которого запланирована замена систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВК).

Приведенные ниже предложения относятся к новому строительству, капитальному ремонту и модернизации зданий.

Коммерческие здания

VAV-reheat-системы. В большом здании с системой с переменным расходом воздуха (variable air volume, VAV) тепло-снабжение обеспечивается центральным газовым котлом. Наиболее распространенной альтернативой таким котлам являются воздушные тепловые насосы. Иногда используются геотермальные тепловые насосы. В некоторых случаях используются электрокалориферы, но это может привести к более высоким общим затратам на электроэнергию.

VRF-системы. Системы с переменным потоком хладагента в последние годы наиболее предпочтительны, учитывая снижение капитальных затрат за счет использования одного и того же компрессора для отопления и охлаждения вместо отдельного котла и охлаждающего компрессора. К их преимуществам относятся компактный дизайн и простота эксплуатации. Данные системы также предлагают варианты рекуперации тепла и могут одновременно обеспечивать нагрев и охлаждение. Дополнительной экономии энергии можно достичь благодаря системам VRF, в которые входят вентиляторы и компрессоры с частотно-регулируемым приводом. VRF-системы требуют отдельной системы вентиляции. Прямоточные приточные системы вентиляции (dedicated outdoor air systems, DOAS) и связанные с ними преимущества² хорошо сочетаются с системами VRF.

Однозонные компактные агрегаты. Во многих коммерческих зданиях, особенно в торговых точках, используются однозонные компактные агрегаты с подогревом за счет природного газа и компрессорным охлаждением. Эти же агрегаты доступны в конфигурации теплового насоса, в котором охлаждающий компрессор в сочетании с реверсивными клапанами может производить необходимый нагрев. Эта система – еще одна возможность для легкого перехода с газового отопления на отопление тепловым насосом. Из-за относительно короткого срока службы таких устройств (обычно от 10 до 15 лет) существует реальная возможность перехода на электрическое отопление при замене оборудования. Блочные агрегаты могут работать с компрессорным охлаждением, а для обогрева тепловым насосом обычно не требуется дополнительная электрическая мощность.

Для коммерческих зданий доступно множество других систем с тепловыми насосами. К ним относятся геотермальные тепловые насосы, чиллеры с рекуперацией тепла, VRF-системы с водяным охлаждением и т. п.

Многоквартирные дома и отели

В многоквартирных домах и отелях часто используются четырехтрубные фэнкойлы, в которых вода нагревается приточным газом.

Автономные агрегатированные блоки для охлаждения и обогрева помещения (packaged terminal air conditioner, PTAC) поставляются в двух возможных конфигурациях:

- в одной есть компрессор для охлаждения, а весь нагрев осуществляется с помощью электрокалорифера;
- во второй компрессор используется как для нагрева, так и для охлаждения с помощью реверсивного клапана. Их часто называют автономными агрегатированными тепловыми насосами (packaged terminal heat pump, PTHP). Они поставляются с электрокалорифером, который дополняет компрессор, когда температура наружного воздуха падает ниже мощности теплового насоса.

Существуют системы PTAC, в которых для функции нагрева используется только электрокалорифер. Они потребляют больше электроэнергии, но редко требуют большей электрической мощности. Блоки PTHP хороши для многоквартирных домов, в которых потребление энергии каждым арендатором измеряется индивидуально.

VRF-системы можно использовать в гостиницах и многоквартирных домах. Фэнкойлы бывают разных конфигураций, применимых к этим типам зданий. Для многосемейных проектов доступны VRF-системы с системой учета, которая позволяет распределять затраты на отопление и охлаждение на каждую жилую единицу.

Жилые дома

Центральные кондиционеры с тепловым насосом.

Газовые котельные на сегодняшний день являются наиболее распространенной системой отопления жилых помещений в США, особенно в более холодном климате. В большинстве домов также установлены кондиционеры для охлаждения. В системе охлаждения обычно используется та же система воздуховодов, что и для воздушного отопления. В течение многих лет были доступны и широко используются системы тепловых насосов, в которых используется один и тот же компрессор для обогрева или охлаждения. В этих системах есть наружный блок, который работает как конденсатор в режиме охлаждения. Он подключен к охлаждающему змеевику внутреннего блока обработки воздуха.

Эта система может быть установлена в новых домах или переоборудована в существующих домах, в которых уже есть центральные системы отопления и охлаждения. Приобретая тепловой насос, который может обеспечивать как обогрев, так и охлаждение, домовладельцы могут избежать затрат на две системы (кондиционер и газовую котельную).

В большинстве климатических зон электропотребление комбинированной системы из кондиционера и теплового насоса не превышает энергозатрат на отдельный кондиционер. В более холодном климате, когда температура опускается ниже мощности теплового насоса (обычно ниже $-12 \dots 6,7$ °C), комбинированная система может быть дополнена электрокалориферами в воздухообрабатывающем устройстве.

В жилых помещениях, в которых отсутствует центральная система кондиционирования воздуха или ее необходимо устанавливать, отличной альтернативой может быть бесканальная мини-сплит-система. Она обеспечит как обогрев, так и охлаждение.

² Подробнее об этих системах см. статью Muma S. Прямоточные приточные системы вентиляции // АВОК. 2011. № 5.

дение, не усложняя систему воздуховодов и не занимая ее пространство. Единственное, что для этого необходимо, – это внутренние (обычно настенные) блоки, внешний конденсаторный блок и соединяющий их трубопровод с хладагентом. Поскольку данная система не требует наличия воздуховодов, это относительно простой способ модернизации существующих зданий.

Тепловые насосы для горячего водоснабжения

Тепловыми насосами можно обеспечить и горячее водоснабжение (ГВС). Сегодня рынок бытовых водонагревателей с тепловыми насосами (heat pump water heater, HPWH) развит лучше, чем рынок тепловых насосов для отопления помещений.

Жилые коттеджи

Система ГВС – лучшая возможность для установки теплового насоса.

Переход с электрического водонагревателя на водонагреватель с тепловым насосом со встроенным баком не сложен, но позволяет получить значительную экономию электроэнергии. Конечно, водонагреватели с тепловым насосом дороже, чем электроводонагреватели, однако некоторые коммунальные предприятия предлагают скидки или льготы за использование водонагревателей с тепловыми насосами. Появилась новая категория водонагревателей с тепловым насосом, в которых резервуар отделен от теплового насоса. Сплит-водонагреватель, доступный в США, использует в качестве хладагента CO₂ (R-744). Дioxid углерода в качестве хладагента имеет потенциал глобального потепления (global warming potential, GWP), равный 1, тогда как GWP других, более часто используемых, хладагентов может достигать 1 300 (для R-134A) или более. Системы с хладагентом CO₂ уже доступны в Европе и Азии.

Многоквартирные здания и отели

В крупных системах горячего водоснабжения, например в большой гостинице или многоквартирном доме, центральный водонагреватель можно заменить более крупными тепловыми насосами с воздушным источником. В больших комплексах зданий, где требуется водяное отопление или подогрев горячей воды, тепловые насосы могут обслуживать как отопление помещений, так и ГВС. В некоторых юрисдикциях требуется, чтобы системы ГВС были отделены от первичного теплоносителя посредством теплообменника с двойными стенками. Иногда могут использоваться чиллеры с рекуперацией тепла, где отработанное тепло используется для нагрева воды. Это работает только в случае, когда существует постоянная потребность в охлажденной воде.

Малые и средние централизованные системы горячего водоснабжения. В небольших многоквартирных домах можно использовать водонагреватели с тепловым насосом. Например, в проекте в Новом Орлеане водонагреватели с тепловыми насосами были размещены в туалетах квартир. Сбросной холод от теплового насоса направлялся в жилую зону, уменьшая холодильную нагрузку. Для средних систем ГВС с накопительными баками можно использовать более мощные воздушные тепловые насосы.

Коммерческие здания

В коммерческих зданиях водонагреватель с тепловым насосом необязательно будет лучшим выбором. Учитывая ограниченное количество необходимой горячей воды, использование проточных электронагревателей горячей воды может быть лучшим вариантом. Хотя центральный водонагреватель с тепловым насосом будет иметь гораздо лучший КПД, дополнительная энергия, необходимая для компенсации потерь в циркуляционном контуре и резервуаре, а также энергия, необходимая для работы насосов, могут перевесить это повышение эффективности. Проточные водонагреватели могут обеспечить небольшое количество необходимой горячей воды по запросу, что обычно приводит к общему снижению потребления энергии и меньшим первоначальным затратам.

Однако если в коммерческом здании есть кухня, обычно лучшим выбором будет водонагреватель с тепловым насосом.

Традиционные электрические системы отопления

Иногда рассматривается вопрос о переходе с газового котла на какой-либо электрический отопительный прибор, имеющий более низкую первоначальную стоимость. Однако несмотря на то, что технически это переход на использование чистой электроэнергии, это решение все же неэффективно. Энергоэффективность – ключевой компонент декарбонизации. Несмотря на то, что электрический нагревательный прибор исключает сжигание ископаемого топлива в месте своей установки, он потребляет почти в три раза больше электроэнергии, чем системы тепловых насосов. Кроме того, повышенный спрос на электроэнергию зимой может привести к перегрузке сети, если такое решение станет повсеместным, поскольку производство возобновляемой, например солнечной, электроэнергии находится на самом низком уровне. В конечном счете во всех странах, кроме тех, что находятся в теплом климате, традиционные электрические отопительные системы приведут к более высоким затратам на электроэнергию.

В некоторых случаях, когда здание имеет сверхизоляция, установка электрокотла может быть оправдана, поскольку в этом случае требуется небольшой подогрев, дополнительные расходы теплового насоса не могут быть полезными. Однако это верно только в том случае, когда тепловые нагрузки чрезвычайно низки. ■

В следующем номере журнала «Энергосбережение» рассмотрим возможность установки тепловых насосов при реконструкции зданий, в условиях низкой температуры окружающей среды и другие аспекты их применения.

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 ответственность 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