

5 лекция. Альтернативные источники энергии для энергоэффективных архитектурных объектов.

Краткая аннотация:

Дается описание современных и перспективных альтернативных источников энергии для энергоэффективной архитектуры и области их применения.

Лекционный материал:

В последние годы новые альтернативные возобновляемые источники энергии (ВИЭ) становятся все более конкурентоспособными в различных секторах энергетического рынка. Наиболее быстрыми темпами в последние годы развивались технологии практического использования фотоэлектрических преобразователей энергии (средний ежегодный рост составляет 60%). Высокими темпами внедрялись и другие технологии использования возобновляемых источников энергии: ветроэнергетические установки – 28%, производство биотоплива – 25%, солнечные нагревательные установки – 17%, геотермальное теплоснабжение – 13%, малые и микро-ГЭС – 8%, в то время как традиционные отрасли энергетики развивались с темпом 2...4% в год, в том числе крупная гидроэнергетика 2%, атомная энергетика 1,6%.

Наиболее перспективными альтернативными источниками, устанавливаемыми непосредственно в зданиях, представляются топливные элементы, низкопотенциальные источники с тепловыми насосами, солнечные коллекторы, фотоэлектрические панели.

1.1 Топливные элементы

Топливные элементы представляют собой очень эффективный, надежный, долговечный и экологически чистый способ получения энергии. Первоначально применявшиеся лишь в космической отрасли, в настоящее время топливные элементы все активнее используются в самых разных областях – как стационарные электростанции, автономные источники тепло- и электроснабжения зданий, двигатели транспортных средств, источники питания ноутбуков и мобильных телефонов. Часть этих устройств является лабораторными прототипами, часть проходит предсерийные испытания или используется в демонстрационных целях, но многие модели выпускаются серийно и применяются во вполне коммерческих проектах.

Принцип действия топливных элементов

Топливный элемент (электрохимический генератор) – устройство, которое преобразует химическую энергию топлива (водорода) в электрическую в процессе электрохимической реакции напрямую, в отличие от традиционных технологий, при которых используется сжигание твердого, жидкого и газообразного топлива. Прямое электрохимическое преобразование топлива очень эффективно и привлекательно с точки зрения экологии, поскольку в процессе работы выделяется минимальное количество загрязняющих веществ, а также отсутствуют сильные шумы и вибрации.

С практической точки зрения топливный элемент напоминает обычную гальваническую батарею. Отличие заключается в том, что изначально батарея заряжена, то есть «заполнена топливом». В процессе работы «топливо» расходуется, и батарея разряжается. В отличие от батареи, топливный элемент для производства электрической энергии использует топливо, подаваемое от внешнего источника.

Для производства электрической энергии может использоваться не только чистый водород, но и другое водородосодержащее сырье, например, природный газ, аммиак, метанол или бензин. В качестве источника кислорода, также необходимого для реакции, используется обычный воздух.

При использовании чистого водорода в качестве топлива продуктами реакции, помимо электрической энергии, является тепло и вода (или водяной пар), то есть в атмосферу не выбрасываются газы, вызывающие загрязнение воздушной среды или вызывающие парниковый эффект. Если в качестве топлива используется водородосодержащее сырье, например, природный газ, побочным продуктом реакции будут и другие газы, например, оксиды углерода и азота, однако его количество значительно ниже, чем при сжигании такого же количества природного газа.

Процесс химического преобразования топлива с целью получения водорода называется реформингом, а соответствующее устройство – реформером.

Достоинства и недостатки топливных элементов

Топливные элементы энергетически более эффективны, чем двигатели внутреннего сгорания, поскольку для топливных элементов нет термодинамического ограничения коэффициента использования энергии. Коэффициент полезного действия топливных элементов составляет 50%, в то время как КПД двигателей внутреннего сгорания составляет 12–15%, а КПД паротурбинных энергетических установок не превышает 40%. При использовании тепла и воды эффективность топливных элементов еще более увеличивается.

В отличие от, например двигателей внутреннего сгорания, КПД топливных элементов остается очень высоким и в том случае, когда они работают не на полной мощности. Кроме этого, мощность топливных элементов может быть увеличена простым добавлением отдельных блоков, при этом КПД не меняется, то есть большие установки столь же эффективны, как и малые. Эти обстоятельства позволяют очень гибко подбирать состав оборудования в соответствии с пожеланиями заказчика и в конечном итоге приводят к снижению затрат на оборудование.

Важное преимущество топливных элементов – их экологичность. Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ при эксплуатации топливных элементов настолько низки, что в некоторых районах США для их эксплуатации не требуется специального разрешения от государственных органов, контролирующих качество воздушной среды.

Топливные элементы можно размещать непосредственно в здании, при этом снижаются потери при транспортировке энергии, а тепло, образующееся в результате реакции, можно использовать для теплоснабжения или горячего водоснабжения здания. Автономные источники тепло- электроснабжения могут быть очень выгодны в отдаленных районах и в регионах, для которых характерна нехватка электроэнергии и ее высокая стоимость, но в то же время имеются запасы водородосодержащего сырья (нефти, природного газа).

Достоинствами топливных элементов являются также доступность топлива, надежность (в топливном элементе отсутствуют движущиеся части), долговечность и простота эксплуатации.

Один из основных недостатков топливных элементов на сегодняшний день – их относительно высокая стоимость. Но этот недостаток может быть вскоре преодолен – все новые компании выпускают коммерческие образцы топливных элементов, они непрерывно совершенствуются, а их стоимость снижается.

Наиболее эффективно использование в качестве топлива чистого водорода, однако это потребует создания специальной инфраструктуры для его выработки и транспортировки. В настоящее время все коммерческие образцы используют природный газ и подобное топливо. Автотранспортные средства могут использовать обыкновенный бензин, что позволит сохранить существующую развитую сеть автозаправочных станций. Однако использование такого топлива приводит к вредным выбросам в атмосферу (хотя и очень низким) и усложняют (а, следовательно, и удорожают) топливный элемент. В перспективе

рассматривается возможность использования экологически чистых возобновляемых источников энергии (например, солнечной энергии или энергии ветра) для разложения воды на водород и кислород методом электролиза, а затем преобразования получившегося топлива в топливном элементе. Такие комбинированные установки, работающие в замкнутом цикле, могут представлять собой совершенно экологически чистый, надежный, долговечный и эффективный источник энергии.

Еще одна особенность топливных элементов состоит в том, что наиболее эффективны они при использовании одновременно как электрической, так и тепловой энергии. Однако возможность использования тепловой энергии есть не на каждом объекте. В случае использования топливных элементов только для выработки электрической энергии их КПД уменьшается, хотя превышает КПД «традиционных» установок.

История и современное использование топливных элементов

Принцип действия топливных элементов был открыт в 1839 году. Английский ученый Уильям Гроув (William Robert Grove, 1811 – 1896) обнаружил, что процесс электролиза – разложения воды на водород и кислород посредством электрического тока – обратим, то есть водород и кислород можно объединять в молекулы воды без горения, но с выделением тепла и электрического тока. Прибор, в котором удалось провести такую реакцию, Гроув назвал «газовой батареей» («gas battery»), которая представляла собой первый топливный элемент.

Активное развитие технологий использования топливных элементов началось после второй мировой войны, и связано оно с аэрокосмической отраслью. В это время велись поиски эффективного и надежного, но при этом достаточно компактного источника энергии. В 1960-х годах специалисты НАСА (National Aeronautics and Space Administration, NASA) выбрали топливные элементы в качестве источника энергии для космических кораблей программ «Apollo» (пилотируемые полеты к Луне), «Apollo-Soyuz», «Gemini» и «Skylab». На корабле «Apollo» были использованы три установки мощностью 1,5 кВт (пиковая мощность 2,2 кВт), использующие криогенный водород и кислород для производства электроэнергии, тепла и воды. Масса каждой установки составляла 113 кг. Эти три ячейки работали параллельно, но энергии, вырабатываемой одной установкой было достаточно для безопасного возвращения. В течение 18 полетов топливные элементы наработали в общей сложности 10000 часов без каких-либо отказов. В настоящее время топливные элементы применяются в космических кораблях многоразового использования «Space Shuttle», где используются три установки мощностью 12 кВт, которые вырабатывают всю электрическую энергию на борту космического корабля. Вода, получаемая в результате электрохимической реакции, используется в качестве питьевой, а также для охлаждения оборудования. В нашей стране также велись работы по созданию топливных элементов для использования в космонавтике. Например, топливные элементы использовались для энергоснабжения советского корабля многоразового использования «Буран».

Разработки методов коммерческого использования топливных элементов начались в середине 1960-х годов. Эти разработки частично финансировались государственными организациями. В настоящее время развитие технологий использования топливных элементов идет в нескольких направлениях. Это создание стационарных электростанций на топливных элементах (как для централизованного, так и для децентрализованного энергоснабжения), энергетических установок транспортных средств (созданы образцы автомобилей и автобусов на топливных элементах, в том числе и в нашей стране), а также источников питания различных мобильных устройств (портативных компьютеров, мобильных телефонов и т.д.).

Одним из первых коммерческих моделей топливных элементов, предназначенных для автономного тепло- и электроснабжения зданий, стала модель «PC25 Model A»

производства «ONSI». Этот топливный элемент номинальной мощностью 200 кВт относится к типу элементов с электролитом на основе ортофосфорной кислоты (phosphoric acid fuel cells, PAFC). Цифра «25» в названии модели означает порядковый номер конструкции. Большинство предыдущих моделей были экспериментальными или испытательными образцами, например, модель «PC11» мощностью 12,5 кВт, появившаяся в 1970-х годах. В новых моделях увеличивалась мощность, снимаемая с отдельной топливной ячейки, а также уменьшалась стоимость киловатта произведенной энергии. В настоящее время одним из самых эффективных коммерческих моделей является топливный элемент «PC25 Model C». Как и модель «А», это полностью автоматический топливный элемент типа PAFC мощностью 200 кВт, предназначенный для установки непосредственно на обслуживаемом объекте в качестве автономного источника тепло- и электроснабжения. Такой топливный элемент может устанавливаться снаружи здания. Внешне он представляет собой параллелепипед длиной 5,5, а шириной и высотой 3 метра массой 18140 кг. Отличие от предыдущих моделей – усовершенствованный реформер и более высокая плотность тока.



Система теплоэнергоснабжения почтовой службы на Аляске на основе пяти топливных элементов

В некоторых типах топливных элементов химический процесс может быть обращен: при подаче на электроды разности потенциалов воду можно разложить на водород и кислород, которые собираются на пористых электродах. При подключении нагрузки такой регенеративный топливный элемент начнет вырабатывать электрическую энергию.

Перспективное направление использования топливных элементов – использование их совместно с возобновляемыми источниками энергии, например, фотоэлектрическими панелями или ветроэнергетическими установками. Такая технология позволяет полностью избежать загрязнения атмосферы. Подобную систему планируется создать, например, в учебном центре Адама Джозефа Льюиса в Оберлине. В настоящее время в качестве одного из источников энергии в этом здании используются солнечные батареи. Совместно со специалистами НАСА разработан проект использования фотоэлектрических панелей для получения водорода и кислорода из воды методом электролиза. Затем водород используется в топливных элементах для получения электрической энергии и горячей воды. Это позволит зданию поддерживать работоспособность всех систем при облачных днях и в ночное время.

Принцип действия топливных элементов

Рассмотрим принцип действия топливного элемента на примере простейшего элемента с протонообменной мембраной (Proton Exchange Membrane, PEM). Такой элемент состоит из полимерной мембраны, помещенной между анодом (положительным электродом) и катодом (отрицательным электродом) вместе с канодным и катодным катализаторами. Полимерная мембрана используется в качестве электролита.

Протонообменная мембрана (PEM) представляет собой тонкое (толщиной примерно в 2–7 листов обыкновенной бумаги) твердое органическое соединение. Эта мембрана функционирует как электролит: разделяет вещество на положительно и отрицательно заряженные ионы в присутствии воды.

На аноде происходит окислительный процесс, а на катоде – восстановительный. Анод и катод в PEM-элементе сделан из пористого материала, представляющего собой смесь частичек углерода и платины. Платина выступает в роли катализатора, способствующего протеканию реакции диссоциации. Анод и катод выполнены пористыми для свободного прохождения сквозь них соответственно водорода и кислорода.

Анод и катод помещены между двумя металлическими пластинами, которые подводят к аноду и катоду водород и кислород, а отводят тепло и воду, а также электрическую энергию.

Молекулы водорода сквозь каналы в пластине поступают на анод, где происходит разложение молекул на отдельные атомы. Затем в результате хемосорбции в присутствии катализатора атомы водорода, отдавая каждый по одному электрону, превращаются в положительно заряженные ионы водорода, то есть протоны. Положительно заряженные ионы водорода (протоны) через мембрану диффундируют к катоду, а поток электронов направляется к катоду через внешнюю электрическую цепь, к которой подключена нагрузка (потребитель электрической энергии). Кислород, подаваемый на катод, в присутствии катализатора вступает в химическую реакцию с ионами водорода (протонами) из протонообменной мембраны и электронами из внешней электрической цепи. В результате химической реакции образуется вода. Химическая реакция в топливном элементе других типов (например, с кислотным электролитом, в качестве которого используется раствор ортофосфорной кислоты) абсолютно идентичны химической реакции в топливном элементе с протонообменной мембраной.

В любом топливном элементе часть энергии химической реакции выделяется в виде тепла.

Поток электронов во внешней цепи представляет собой постоянный ток, который используется для совершения работы. Размыкание внешней цепи или прекращение движения ионов водорода останавливает химическую реакцию.

Количество электрической энергии, производимой топливным элементом, зависит от типа топливного элемента, геометрических размеров, температуры, давления газа. Отдельный топливный элемент обеспечивают ЭДС менее 1,16 В. Можно увеличить размеры топливных элементов, однако на практике используют несколько элементов, соединенных в батареи.

Устройство топливных элементов

Рассмотрим устройство топливного элемента на примере модели «PC25 Model C». Топливный элемент «PC25 Model C» состоит из трех основных частей – топливного процессора, собственно секции выработки энергии и преобразователя напряжения.

Основная часть топливного элемента – секция выработки энергии – представляет собой батарею, составленную из 256 отдельных топливных ячеек. В состав электродов топливных ячеек входит платиновый катализатор. Посредством этих ячеек

вырабатывается постоянный электрический ток 1400 ампер при напряжении 155 вольт. Размеры батареи – примерно 2,9 м в длину и 0,9 м в ширину и высоту.

Поскольку электрохимический процесс идет при температуре 177°C, необходимо нагреть батарею в момент пуска и отводить от нее тепло в процессе эксплуатации. Для этого в состав топливного элемента входит отдельный водяной контур, а батарея оборудована специальными охлаждающими пластинами.

Топливный процессор позволяет преобразовать природный газ в водород, необходимый для электрохимической реакции. Этот процесс называется реформингом. Основным элементом топливного процессора – реформера. В реформере природный газ (или другое водородсодержащее топливо) взаимодействует с водяным паром при высокой температуре (900°C) и высоком давлении в присутствии катализатора – никеля.

Для обеспечения высокой температуры, требуемой для преобразования природного газа, часть отработанного топлива из батареи топливных элементов направляется на горелку, которая поддерживает требуемую температуру реформера.

Пар, необходимый для реформинга, образуется из конденсата, образовавшегося при работе топливного элемента. При этом используется тепло, отводимое от батареи топливных ячеек.

В батарее топливных ячеек вырабатывается неустойчивый постоянный ток, который отличается низким напряжением и большой силой тока. Для преобразования его в переменный ток, отвечающий промышленным стандартам, используется преобразователь напряжения. Кроме этого, в состав блока преобразователя напряжения входят различные управляющие устройства и схемы защитной блокировки, позволяющие отключать топливный элемент в случае различных сбоев.

В таком топливном элементе примерно 40% энергии топлива может быть преобразовано в электрическую энергию. Примерно столько же, около 40% энергии топлива, может быть преобразовано в тепловую энергию, используемую затем в качестве источника тепла для отопления, горячего водоснабжения и подобных целей. Таким образом, суммарный КПД такой установки может достигать 80%.

Важным достоинством такого источника тепло- и электроснабжения является возможность его автоматической работы. Для обслуживания владельцам объекта, на котором установлен топливный элемент, не требуется содержать специально обученный персонал – периодическое обслуживание может осуществляться работниками эксплуатирующей организации.

Технические характеристики элемента приведены в таблице 2.4.1.

Таблица 2.4.1.1

Основные технические характеристики топливного элемента PC25C

Установочная мощность (электрическая энергия)	200 кВт
Вырабатываемая электрическая энергия	480/227 В, 60 Гц, три фазы или 400/230 В, 50 Гц, три фазы
Вырабатываемая тепловая энергия	264 кВт·ч при температуре 60°C или 132 кВт·ч при температуре 60°C и 132 кВт·ч при температуре 120°C
Потребляемое топливо	Природный газ – 57,4 м ³ /ч Газ из метатенка – 90 м ³ /ч при 60% содержании CH ₄
Выделяемые загрязнения	CO – <2 ppm NO _x – <1 ppm SO _x – незначительно
Уровень шума	60 dBA (допускается установка внутри здания)
Габаритные размеры (длина × ширина × высота)	3×3×5,5 м
Масса	18,1 т

Типы топливных элементов

В настоящее время известно несколько типов топливных элементов, различающихся составом использованного электролита. Наибольшее распространение получили следующие четыре типа: топливные элементы с протонообменной мембраной (Proton Exchange Membrane Fuel Cells, PEMFC), топливные элементы на основе ортофосфорной (фосфорной) кислоты (Phosphoric Acid Fuel Cells, PAFC), топливные элементы на основе расплавленного карбоната (Molten Carbonate Fuel Cells, MCFC), твердотельные оксидные топливные элементы (Solid Oxide Fuel Cells, SOFC). В настоящее время самый большой парк топливных элементов построен на основе технологии PAFC.

Одной из ключевых характеристик разных типов топливных элементов является рабочая температура. Во многом именно температура определяет область применения топливных элементов. Например, высокая температура критична для ноутбуков, поэтому для этого сегмента рынка разрабатываются топливные элементы с протонообменной мембраной, отличающиеся низкими рабочими температурами. Для автономного энергоснабжения зданий необходимы топливные элементы высокой установочной мощности, и при этом имеется возможность использования тепловой энергии, поэтому для этих целей могут использоваться и топливные элементы других типов.

Таблица 2.4.1.2

Типы топливных элементов

Тип элемента	Рабочие температуры	КПД (выход электрической энергии)	Суммарный КПД
Топливные элементы с протонообменной мембраной (PEMFC)	60–160°C	30–35	50–70
Топливные элементы на основе ортофосфорной (фосфорной) кислоты (PAFC)	150–200°C	35	70–80
Топливные элементы на основе расплавленного карбоната (MCFC)	600–700°C	45–50	70–80
Твердотельные оксидные топливные элементы (SOFC)	700–1000°C	50–60	70–80

1.2. Тепловые насосы

В настоящее время, по данным международной организации «Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies» (CADDET), в мире насчитывается приблизительно 55 миллионов тепловых насосов. Подавляющее большинство из них оснащено электрическим приводом компрессора и используются в системах кондиционирования воздуха, то есть могут работать как для нагрева, так и для охлаждения воздуха. Примерно 1,5 миллиона тепловых насосов используются только для отопления зданий, расположенных в странах с холодным климатом (странах, где число градусо-суток отопительного периода значительно превышает число градусо-суток периода охлаждения). Кроме отопления, тепловые насосы используются и для горячего водоснабжения зданий (ГВС).

Как правило, система тепло- и холодоснабжения зданий на основе тепловых насосов будет отличаться более высокими капитальными, но более низкими эксплуатационными затратами по сравнению с традиционными системами.

Принцип действия теплового насоса

Тепловой насос – термодинамическая установка, в которой благодаря затрате механической энергии теплота от низкопотенциального источника передается потребителю при более высокой температуре. Один и тот же тепловой насос может использоваться как для тепло-, так и для холодоснабжения.

Наибольшее распространение получили парокомпрессионные тепловые насосы. Реже используются абсорбционные, а также термоэлектрические (бескомпрессорные) тепловые насосы. Существуют и другие типы тепловых насосов. Здесь будут рассмотрены в основном парокомпрессионные тепловые насосы.

Парокомпрессионные тепловые насосы

Парокомпрессионный тепловой насос состоит из испарителя, компрессора, посредством которого происходит сжатие паров рабочей жидкости (холодильного агента), конденсатора, в котором происходит переход парообразного холодильного агента в жидкое состояние, и дроссельного вентиля, в котором происходит процесс дросселирования, т.е. необратимого расширения жидкости с понижением давления и температуры, в результате часть жидкости превращается в пар, при этом ее энтальпия остается неизменной. В испарителе поддерживаются более низкие, а в конденсаторе более высокие температура и давление холодильного агента. Холодильный агент в конденсаторе превращается в жидкость, затем в дроссельном вентиле его давление понижается и он частично превращается в пар. Теплота, отводимая от конденсатора, используется для нагревания теплоносителя. Таким образом, цикл работы теплового насоса следующий:

- Испаритель: теплота передается рабочей жидкости (холодильному агенту) при относительно низкой температуре, рабочая жидкость испаряется;
- Компрессор: повышается давление и температура холодильного агента;
- Конденсатор: холодильный агент конденсируется, при этом выделяется теплота, которая передается потребителю при относительно высокой температуре;
- Дроссельный вентиль: давление и температура холодильного агента понижается.

Кроме теплоты, перенесенной от источника, теплопотребитель получает теплоту, эквивалентную затраченной механической энергии. Эффективность теплового насоса характеризуется коэффициентом преобразования теплоты (КОП), равного отношению количества теплоты, отводимой от конденсатора, к работе, затрачиваемой в компрессоре на сжатие паров рабочего тела. В иностранной литературе коэффициент преобразования теплоты обозначается как COP (сокращение от «coefficient of performance»).

Коэффициент преобразования тепловых насосов обычно составляет 2,5–5; в системах отопления применение теплового насоса целесообразно при значениях коэффициента преобразования не ниже 3.

Эффективность теплового насоса зависит от разности температур испарителя и конденсатора. Чем меньше разница температур, тем эффективнее работает тепловой насос, и тем выше его коэффициент преобразования. Можно отметить две важные закономерности:

- При некоторой температуре конденсатора повышение температуры испарителя повышает коэффициент преобразования; таким образом, чем выше температура источника низкопотенциального тепла, тем эффективнее работает тепловой насос;
- При некоторой температуре испарителя понижение температуры конденсатора повышает коэффициент преобразования; таким образом, чем ниже температура потребителя тепла, тем эффективнее работает тепловой насос.

Теплота от низкопотенциального источника может подаваться на испаритель теплового насоса либо посредством промежуточного теплоносителя, подогреваемого в теплообменнике, либо непосредственно. Каждый дополнительный теплообменник увеличивает разность температур между источником низкопотенциального тепла и

испарителем, то есть уменьшает температуру на испарителе. Это уменьшает производительность теплового насоса, поэтому подключения испарителей теплового насоса к низкопотенциальному источнику через теплообменник следует по возможности избегать. Это справедливо и при подключении потребителя к конденсатору теплового насоса.

Кроме тепловых насосов с электрическим приводом компрессора, используются тепловые насосы с приводом компрессора в виде двигателя внутреннего сгорания. В отличие от теплового насоса с электроприводом компрессора, в тепловом насосе с приводом компрессора в виде двигателя внутреннего сгорания теплота, передаваемая потребителю, может быть увеличена за счет теплоты, выделяемой двигателем при работе.

Абсорбционные тепловые насосы

Принцип действия абсорбционного теплового насоса похож на принцип действия парокомпрессионного теплового насоса, однако вместо механического компрессора, например поршневого, используется так называемый тепловой компрессор, состоящий из абсорбера и генератора. В качестве рабочей среды используются два вещества, температура кипения которых при одинаковом давлении значительно отличается. Вещество, обладающее низкой температурой кипения, является холодильным агентом. Второе вещество обладает способностью поглощать пары первого и является абсорбентом. Например, роль холодильного агента может выполнять аммиак, а роль абсорбента – вода. Вода, находящаяся в абсорбере, интенсивно поглощает (абсорбирует) аммиак: 1 л воды при 0°C способен растворить свыше 1000 л аммиака. Поглощение водой аммиачных паров соответствует такту всасывания поршневого компрессора. В генераторе крепкий водоаммиачный раствор подогревают, изгоняя из него легколетучую компоненту – аммиак, что соответствует нагнетательному такту в рабочем цикле поршневого компрессора.

Термоэлектрические тепловые насосы

Принцип действия термоэлектрического теплового насоса основан на свойстве поглощения или выделения теплоты в местах контактов (спаев) двух разных металлов или полупроводников при прохождении через них постоянного тока, причем при изменении полярности эффект меняет знак. Это явление носит название эффекта Пельтье.

Например, существует термоэлектрический тепловой насос, обеспечивающий подогрев воздуха в помещении (при его рециркуляции) за счет низкопотенциальной тепловой энергии наружного воздуха. Наружный и внутренний воздух проходит через индивидуальные каналы, между которыми располагаются спаи полупроводниковых элементов (например, висмут–теллур). При прохождении через спаи электрического тока на них выделяется или поглощается теплота, за счет чего обеспечивается подогрев внутреннего воздуха за счет более глубокого охлаждения наружного, или, при изменении полярности, охлаждение внутреннего и подогрев наружного воздуха.

Источники низкопотенциальной тепловой энергии

В качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии может быть использовано тепло как естественного, так и искусственного происхождения.

В качестве естественных источников низкопотенциального тепла могут быть использованы:

- Тепло земли (тепло грунта);
- Подземные воды (грунтовые, артезианские, термальные);
- Вода естественных и искусственных водоемов (рек, озер, морей, прудов, водохранилищ);

- Наружный воздух.

В качестве искусственных источников низкопотенциального тепла могут выступать:

- Удаляемый вентиляционный воздух;
- Канализационные стоки (сточные воды);
- Промышленные сбросы;
- Тепло технологических процессов;
- Бытовые тепловыделения.

В таблице 2.4.2.1 приведены краткие характеристики этих источников при использовании их для отопления или горячего водоснабжения жилых домов.

Таблица 2.4.2.1

Краткие характеристики некоторых источников низкопотенциальной тепловой энергии при использовании их для отопления или горячего водоснабжения жилых домов

	Тепло наружного воздуха	Тепло удаляемого вентиляционного воздуха	Тепло земли (горизонтальные теплообменники)	Тепло земли (вертикальные теплообменники)
Применение	В многоквартирных и многоквартирных жилых домах	В многоквартирных и многоквартирных жилых домах	Обычно в многоквартирных жилых домах	В многоквартирных и многоквартирных жилых домах
Особенности конструкции	Присоединение источника и потребителя низкопотенциальной тепловой энергии как непосредственно, так и через теплообменник	В многоквартирных жилых домах подключение теплового насоса к источнику низкопотенциальной тепловой энергии через теплообменник, в многоквартирных — непосредственно	Испаритель теплового насоса подключается к источнику низкопотенциальной тепловой энергии через теплообменник; грунтовой горизонтальный теплообменник устраивается рядом с домом на небольшой глубине (но ниже уровня	Испаритель теплового насоса подключается к источнику низкопотенциальной тепловой энергии через теплообменник

			промерзания грунта в зимнее время)	
Преимущества	Источник низкопотенциальной тепловой энергии всегда доступен Использование водовоздушных тепловых насосов позволяет уменьшить капитальные затраты за счет более низкой стоимости оборудования	Высокая температура источника низкопотенциальной тепловой энергии позволяет достичь больших значений коэффициента преобразования	Относительно низкая стоимость и простота обслуживания	Для устройства вертикальных грунтовых теплообменников требуется участок небольшой площади
Недостатки	Самый низкий коэффициент преобразования и производительность установки при низких температурах наружного воздуха, то есть когда потребность в отоплении максимальна В системах водяного отопления источник низкопотенциальной тепловой энергии обычно не может быть использован при температурах наружного воздуха ниже – 5°C, поэтому требуется дополнительный источник	Может использоваться только в зданиях с механической системой вентиляции Теплосодержание удаляемого вентиляционного воздуха слишком мало для покрытия всей отопительной нагрузки	Для устройства горизонтальных грунтовых теплообменников требуется участок большой площади Зависят от интенсивности солнечной радиации, падающей на поверхность Относительно высокие капитальные затраты	Дополнительные сложности, связанные с необходимостью бурения относительно глубоких скважин для устройства вертикальных грунтовых теплообменников (получение разрешения от контролирующих органов, привлечение специалистов в области бурения и т.д.) Относительно высокие капитальные затраты

	тепловой энергии			
	При низких температурах наружного воздуха требуется использование специальных устройств для предотвращения обледенения			

Использование тепла Земли посредством тепловых насосов

Рассмотрим более подробно один из наиболее распространенных примеров применения тепловых насосов – тепло- и холодоснабжение зданий за счет использования тепла Земли.

При использовании тепла Земли можно выделить два вида тепловой энергии – высокопотенциальную и низкопотенциальную. Источником высокопотенциальной тепловой энергии являются гидротермальные ресурсы – термальные воды, нагретые в результате геологических процессов до высокой температуры, что позволяет их использовать для теплоснабжения зданий. Однако использование высокопотенциального тепла Земли ограничено районами с определенными геологическими параметрами. В России это, например, Камчатка, район Кавказских минеральных вод; в Европе источники высокопотенциального тепла есть в Венгрии, Исландии и Франции.

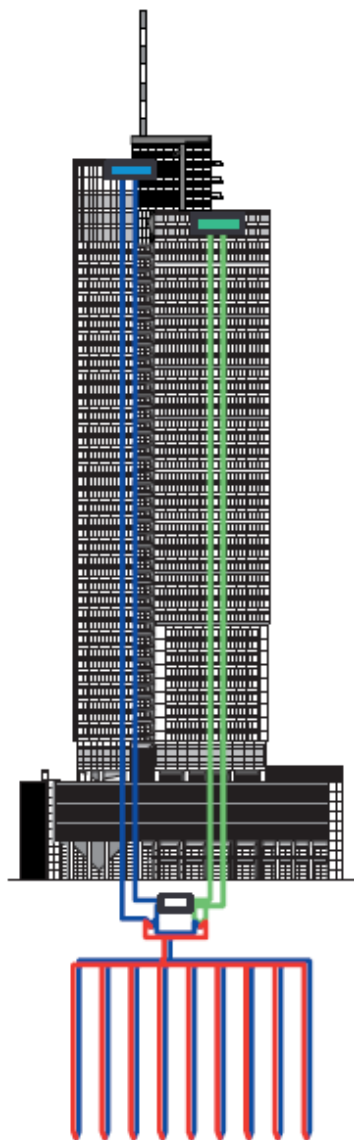
В отличие от «прямого» использования высокопотенциального тепла, использование низкопотенциального тепла Земли посредством тепловых насосов возможно практически повсеместно. В настоящее время это одно из наиболее динамично развивающихся направлений использования «нетрадиционных» и «возобновляемых» источников энергии.

Низкопотенциальное тепло Земли может использоваться в различных типах зданий и сооружений многими способами: для отопления, горячего водоснабжения, кондиционирования (охлаждения) воздуха, обогрева дорожек для предотвращения обледенения, подогрев полей на открытых стадионах и т.п. В англоязычной технической литературе такие системы обозначаются как «GHP» – «geothermal heat pumps», геотермальные тепловые насосы.

Климатические характеристики стран Центральной и Северной Европы, которые, вместе с США и Канадой являются главными районами использования низкопотенциального тепла Земли, определяют главным образом потребность в отоплении; охлаждение воздуха даже в летний период требуется относительно редко. Поэтому, в отличие от США, тепловые насосы в европейских странах работают в основном в режиме отопления. В США чаще тепловые насосы используются в системах воздушного отопления, совмещенного с вентиляцией, что позволяет как подогревать, так и охлаждать наружный воздух. В европейских странах тепловые насосы обычно применяются в системах водяного отопления. Поскольку эффективность тепловых насосов увеличивается при уменьшении разности температур испарителя и конденсатора, часто для отопления зданий используются системы напольного отопления, в которых циркулирует теплоноситель относительно низкой температуры (35–40°C).

Большинство тепловых насосов в Европе, предназначенных для использования низкопотенциального тепла Земли, оборудовано компрессорами с электрическим приводом.

За прошедшие десять лет количество систем, использующих для тепло- и холодоснабжения зданий низкопотенциальное тепло Земли посредством тепловых насосов, значительно увеличилось. Наибольшее число таких систем используется в США. Большое число таких систем функционируют в Канаде и странах центральной и Северной Европы: Австрии, Германии, Швеции и Швейцарии. Швейцария лидирует по величине использования низкопотенциальной тепловой энергии Земли на душу населения.



Использование тепла земли посредством тепловых насосов для теплоснабжения здания «MAIN TOWER» (Франкфурт-на-Майне)

Грунт как источник низкопотенциальной тепловой энергии

В качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии могут использоваться подземные воды с относительно низкой температурой либо грунт поверхностных (глубиной до 400 м) слоев Земли. Теплосодержание грунтового массива в общем случае выше. Тепловой режим грунта поверхностных слоев Земли формируется под действием двух основных факторов – падающей на поверхность солнечной радиации и потоком

радиоогенного тепла из земных недр. Сезонные и суточные изменения интенсивности солнечной радиации и температуры наружного воздуха вызывают колебания температуры верхних слоев грунта. Глубина проникновения суточных колебаний температуры наружного воздуха и интенсивности падающей солнечной радиации в зависимости от конкретных почвенно-климатических условий колеблется в пределах от нескольких десятков сантиметров до полутора метров. Глубина проникновения сезонных колебаний температуры наружного воздуха и интенсивности падающей солнечной радиации не превышает, как правило, 15–20 м.

Температурный режим слоев грунта, расположенных ниже этой глубины («нейтральной зоны»), формируется под воздействием тепловой энергии, поступающей из недр Земли и практически не зависит от сезонных, а тем более суточных изменений параметров наружного климата. С увеличением глубины температура грунта также увеличивается в соответствии с геотермическим градиентом (примерно 3°C на каждые 100 м). Величина потока радиоогенного тепла, поступающего из земных недр, для разных местностей различается. Для Центральной Европы эта величина составляет 0,05–0,12 Вт/м².

Кроме этого, на температурный режим верхних слоев грунта оказывает влияние влага атмосферных осадков, а также подземные воды.

Таким образом, на сравнительно небольшой глубине от поверхности имеются слои грунта, температурный потенциал которых в холодное время года значительно выше, чем у наружного воздуха. Характерным является факт запаздывания во времени колебаний температуры грунта относительно колебаний температуры воздуха: на некоторой глубине от поверхности максимальные температуры в грунте наблюдаются в наиболее холодный период года.

Виды систем использования низкопотенциальной тепловой энергии Земли

Грунтовые теплообменники связывают теплонасосное оборудование с грунтовым массивом. Кроме «извлечения» тепла Земли, грунтовые теплообменники могут использоваться и для накопления тепла (или холода) в грунтовом массиве. В общем случае можно выделить два вида систем использования низкопотенциальной тепловой энергии Земли:

- открытые системы: в качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии используются грунтовые воды, подводимые непосредственно к тепловым насосам;
- замкнутые системы: теплообменники расположены в грунтовом массиве; при циркуляции по ним теплоносителя с пониженной относительно грунта температурой происходит «отбор» тепловой энергии от грунта и перенос ее к испарителю теплового насоса (или, при использовании теплоносителя с повышенной относительно грунта температурой, его охлаждение).

Основная часть открытых систем – скважины, позволяющие извлекать грунтовые воды из водоносных слоев грунта и возвращать воду обратно в те же водоносные слои. Обычно для этого устраиваются парные скважины.

Достоинством открытых систем является возможность получения большого количества тепловой энергии при относительно низких затратах. Однако скважины требуют обслуживания. Кроме этого, использование таких систем возможно не во всех местностях. Главные требования к грунту и грунтовым водам таковы:

- достаточная водопроницаемость грунта, позволяющая пополняться запасам воды;

- хороший химический состав грунтовых вод (например, низкое железосодержание), позволяющий избежать проблем, связанных с образованием отложений на стенках труб и коррозией.

Открытые системы чаще используются для тепло- или холодоснабжения крупных зданий. Самая большая в мире геотермальная теплонасосная система использует в качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии грунтовые воды. Эта система расположена в США в г. Луисвилль (Louisville), штат Кентукки. Система используется для тепло- и холодоснабжения гостинично-офисного комплекса; ее мощность составляет примерно 10 МВт.

Иногда к системам, использующим тепло Земли, относят и системы использования низкопотенциального тепла открытых водоемов, естественных и искусственных. Такой подход принят, в частности в США. Системы, использующие низкопотенциальное тепло водоемов, относятся к открытым, как и системы, использующие низкопотенциальное тепло грунтовых вод.

Замкнутые системы, в свою очередь, делятся на горизонтальные и вертикальные.

Горизонтальный грунтовой теплообменник (в англоязычной литературе используются также термины «ground heat collector» и «horizontal loop») устраивается, как правило, рядом с домом на небольшой глубине (но ниже уровня промерзания грунта в зимнее время). Использование горизонтальных грунтовых теплообменников ограничено размерами имеющейся площадки.

В странах Западной и Центральной Европы горизонтальные грунтовые теплообменники обычно представляют собой отдельные трубы, положенные относительно плотно и соединенные между собой последовательно или параллельно. Для экономии площади участка были разработаны усовершенствованные типы теплообменников, например, теплообменники в форме спирали, расположенной горизонтально или вертикально. Такая форма теплообменников распространена в США.

Если система с горизонтальными теплообменниками используется только для получения тепла, ее нормальное функционирование возможно только при условии достаточных теплопоступлений с поверхности земли за счет солнечной радиации. По этой причине поверхность выше теплообменников должна быть подвержена воздействию солнечных лучей.

Вертикальные грунтовые теплообменники (в англоязычной литературе принято обозначение «BHE» – от «borehole heat exchanger») позволяют использовать низкопотенциальную тепловую энергию грунтового массива, лежащего ниже «нейтральной зоны» (10–20 м от уровня земли). Системы с вертикальными грунтовыми теплообменниками не требуют участков большой площади и не зависят от интенсивности солнечной радиации, падающей на поверхность. Вертикальные грунтовые теплообменники эффективно работают практически во всех видах геологических сред, за исключением грунтов с низкой теплопроводностью, например, сухого песка или сухого гравия. Системы с вертикальными грунтовыми теплообменниками получили очень широкое распространение.

Теплоноситель циркулирует по трубам (чаще всего полиэтиленовым или полипропиленовым), уложенным в вертикальных скважинах глубиной от 50 до 200 м. Обычно используется два типа вертикальных грунтовых теплообменников:

- U-образный теплообменник, представляющие собой две параллельные трубы, соединенные в нижней части. В одной скважине располагаются одна или две (реже три) пары таких труб. Преимуществом такой схемы является относительно низкая стоимость изготовления. Двойные U-образные теплообменники – наиболее широко используемый в Европе тип вертикальных

грунтовых теплообменников;

- Коаксиальный (концентрический) теплообменник. Простейший коаксиальный теплообменник представляет собой две трубы различного диаметра. Труба меньшего диаметра располагается внутри другой трубы. Коаксиальные теплообменники могут быть и более сложных конфигураций.

Для увеличения эффективности теплообменников пространство между стенками скважины и трубами заполняется специальными теплопроводящими материалами.

Системы с вертикальными грунтовыми теплообменниками могут использоваться для тепло- и холодоснабжения зданий различных размеров. Для небольшого здания достаточно одного теплообменника; для больших зданий может потребоваться устройство целой группы скважин с вертикальными теплообменниками. Самое большое в мире число скважин используется в системе тепло- и холодоснабжения «Richard Stockton College» в США в штате Нью-Джерси. Вертикальные грунтовые теплообменники этого колледжа располагаются в 400 скважинах глубиной 130 м. В Европе наибольшее число скважин (154 скважины глубиной 70 м) используются в системе тепло- и холодоснабжения центрального офиса Германской Службы управления воздушным движением («Deutsche Flug-sicherung»).

Частным случаем вертикальных замкнутых систем является использование в качестве грунтовых теплообменников строительных конструкций, например, фундаментных свай с замоноличенными трубопроводами.

Грунтовой массив (в случае вертикальных грунтовых теплообменников) и строительные конструкции с грунтовыми теплообменниками могут использоваться не только как источник, но и как естественный аккумулятор тепловой энергии или «холода», например, тепла солнечной радиации.

Существуют системы использования низкопотенциального тепла Земли, которые нельзя однозначно отнести к открытым или замкнутым. Например, одна и та же глубокая (глубиной от 100 до 450 м) скважина, заполненная водой, может быть как эксплуатационной, так и нагнетательной. Диаметр скважины обычно составляет 15 см. В нижнюю часть скважины помещается насос, посредством которого вода из скважины подается к испарителям теплового насоса. Обратная вода возвращается в верхнюю часть водяного столба в ту же скважину. Происходит постоянная подпитка скважины грунтовыми водами, и открытая система работает подобно замкнутой. Системы такого типа в англоязычной литературе носят название «standing column well system».

Обычно скважины такого типа используются и для снабжения здания питьевой водой. Однако такая система может работать эффективно только в почвах, которые обеспечивают постоянную подпитку скважины водой, что предотвращает ее замерзание. Если водоносный горизонт залегает слишком глубоко, для нормального функционирования системы потребуется мощный насос, требующий повышенных затрат энергии. Большая глубина скважины обуславливает достаточно высокую стоимость подобных систем, поэтому они не используются для тепло- и холодоснабжения небольших зданий. Сейчас в мире функционирует несколько таких систем в США, Германии и Европе.

Одно из перспективных направлений – использование в качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии воды из шахт и туннелей. Температура этой воды постоянна в течение всего года. Вода из шахт и туннелей легко доступна. Системы теплоснабжения, в которых в качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии используется вода из туннелей, функционируют в Швейцарских Альпах.

Пример использования теплонасосных систем

Теплонасосные системы, использующие низкопотенциальную тепловую энергию

грунта, реализованы в том числе и в нашей стране. Это, например, многоэтажное жилое здание в Москве в микрорайоне Никулино-2, реализованное под научным руководством Ю. А. Табунщикова, в котором низкопотенциальная тепловая энергия земли и вентиляционных выбросов используется для горячего водоснабжения [Васильев Г. П. «Энергоэффективный экспериментальный жилой дом в микрорайоне Никулино-2» // АВОК, №4, 2002], сельская школа в Ярославской области [Васильев Г. П., Крундышев Н. С. «Энергоэффективная сельская школа в Ярославской области» // АВОК, №5, 2002].

Из числа объектов, введенных в эксплуатацию в последние годы, следует отметить три объекта, расположенных в Подмоскowie – офисное здание компании-застройщика, коттеджный поселок и здание местной администрации. Опыт реализации проектов офисного здания и коттеджного поселка особенно интересен еще и тем обстоятельством, что эти здания изначально создавались не как демонстрационные, а как коммерческие проекты: технические решения выбирались на основе технико-экономической оценки различных вариантов.

Первоначально на базе теплонасосных систем было реализовано отопление офисного здания компании-застройщика, расположенного в поселке Первомайское в Подмоскowie. При этом проект изначально не рассматривался в качестве демонстрационного: предпосылкой к его реализации стала высокая стоимость подключения к газовым сетям. Анализ и сравнение альтернативных вариантов энергоснабжения объекта показал, что вариант с тепловыми насосами по капитальным затратам, даже без учета стоимости самого газа, экономически более выгоден варианту с газовыми водонагревателями, что было обусловлено, главным образом, высокой стоимостью подключения к газовым сетям. Этот проект был успешно реализован; коммерческая эксплуатация в течение четырех отопительных сезонов подтвердила как его техническую возможность, так и экономическую целесообразность выбранных решений.

Успешный опыт реализации теплонасосной системы отопления офисного здания стал предпосылкой реализации более масштабного проекта – устройства системы отопления уже целого коттеджного поселка на базе теплонасосных установок, использующих низкопотенциальную тепловую энергию Земли.

Первая очередь коттеджного поселка предусматривает строительство жилых домов на несколько семей общей площадью (жилых помещений без учета коридоров, лестничных

клеток и т.д.) 19 тыс. м². При газовом отоплении необходимо было предусмотреть общую котельную, тепловые сети и индивидуальные тепловые пункты или узлы управления в каждом здании (в разных зданиях разное число секций). В итоге, после расчета экономической целесообразности нескольких альтернативных вариантов технических решений, учитывая успешный опыт эксплуатации офисного здания компании-застройщика, было принято решение использовать для отопления системы на базе теплонасосных установок.

Эксплуатация теплонасосной системы отопления офисного здания в один из отопительных сезонов, отличавшихся достаточно низкими (до -35°C) температурами наружного воздуха показала, что система отопления, запроектированная на расчетную наружную температуру -28°C , не всегда позволяет поддерживать в помещениях комфортную температуру – в период низких температур наружного воздуха температура в помещениях опускалась до $+14^{\circ}\text{C}$. Служащие, находящиеся в офисе, при такой температуре чувствовали себя не очень комфортно, но все же организация функционировала в обычном режиме. Для жилых помещений такое понижение температуры совершенно недопустимо. Тепловой насос позволяет изменить режим работы для поддержания более высокой температуры потребителя, однако при этом существенно снижается его эффективность. Поэтому по итогам эксплуатации для снятия

пиковых нагрузок в периоды, характеризующиеся экстремально низкими температурами наружного воздуха, было решено предусмотреть в схеме теплоснабжения электрический водонагреватель (электробойлер) для подогрева теплоносителя после теплонасосной установки. Электробойлер включается в работу автоматически.

Для отопления каждой секции жилых домов используются две теплонасосные установки, что позволяет обеспечить резервирование на случай возможного выхода из строя части оборудования.

На период запуска системы в эксплуатацию, пока тепловые насосы еще не установлены на объекте, для теплоснабжения использовались временные газовые нагреватели.

Тепловой насос работает тем эффективнее, чем ниже разница между температурами испарителя и конденсатора, то есть температурой источника низкопотенциальной тепловой энергии и температурой потребителя. Таким образом, наиболее эффективно теплонасосные установки для отопления могут применяться в системах, отличительной чертой которых является относительно невысокая температура теплоносителя. Этим требованиям соответствуют системы отопления на основе напольных отопительных панелей («теплых полов»). Известно, что во избежание заболеваний, связанных с перегревом ног человека, максимальная температура поверхности пола в помещении с постоянным пребыванием людей не должна превышать $+26^{\circ}\text{C}$, в помещениях с временным пребыванием $+31^{\circ}\text{C}$, в детских игровых комнатах $+22^{\circ}\text{C}$ [Богословский В. Н., Сканава А. Н. Отопление. – М., 1991], [СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»]. На рассматриваемых объектах в качестве отопительных приборов применяются низкотемпературные системы на основе замоноличенных в стяжку змеевиков из термостойких полимерных труб и сшитого полиэтилена (РЕХ). Такое решение – комбинация теплонасосных установок с «теплыми полами» – часто применяется и в зарубежной строительной практике.

Для предупреждения возникновения в помещениях холодных нисходящих воздушных потоков от окон, предупреждения выпадения конденсата на внутренней поверхности стекла при отсутствии отопительных приборов, размещенных под окнами, использовалось уменьшение шага замоноличенных в стяжку змеевиков. Если шаг основной укладки составлял 250 мм, то в зоне окон он уменьшался до 100-150 мм.

Использование низкотемпературных напольных отопительных панелей привело к необходимости тщательной проработки конструкции наружных ограждений и теплоизоляции. Так, были выбраны оконные профили, хорошо зарекомендовавшие себя в ходе эксплуатации на объектах, расположенных в городах Сибири. Конструкция самих домов – быстровозводимая монолитная с несъемной опалубкой. Блоки опалубки, изготовленные из полистирола, армируются и заливаются бетонным раствором. После остывания наружная поверхность штукатурится либо облицовывается, а внутренняя покрывается штукатурным слоем. Опалубка не снимается – она выполняет функцию тепло- и звукоизоляции.

Система вентиляции жилых домов – естественная. Поселок расположен за городом, в экологически благополучном районе, поэтому нет необходимости в очистке воздуха и нет препятствий к проветриванию помещений путем открывания окон. В здании администрации поселка Птичное запроектирована система механической вентиляции, в этой части никаких энергосберегающих решений не предусматривалось.

По первоначальному проекту для устройства грунтовых теплообменников предусматривалось бурение скважин глубиной 60 м. Однако в ходе геологических изысканий на глубине около 30 м были обнаружены известняки. Стоимость бурения скважин в известняке резко возрастает, что сразу же лишает проект коммерческой

привлекательности; кроме того, возможен неоптимальный режим теплообмена в таких теплообменниках. Учитывая это обстоятельство, скважины вынужденно пришлось ограничить глубиной 30 м, что привело к необходимости увеличения их числа в два раза.

Расстояние между двумя соседними скважинами из условия обеспечения нормальной работы грунтовых теплообменников должно составлять не менее 5 м. По возможности этот интервал лучше увеличивать. При меньшем расстоянии в случае большой потребности в тепловой энергии при работе тепловых насосов между соседними скважинами возможно промерзание грунта и образование так называемых «линз холода». Лучшее решение – использование единой комбинированной системы отопления-охлаждения. В этом случае в зимнее время грунт используется как источник низкопотенциальной тепловой энергии и при этом захлаживается; в летнее время, наоборот, за счет закачивания теплоносителя в скважины снимаются теплоизбытки в помещениях, а грунтовый массив вокруг скважин при этом подогревается, тем самым подготавливаясь к следующему отопительному сезону. В этом случае риск замораживания грунтового массива существенно уменьшается.

В одном из рассматриваемых объектов, а именно в офисном здании компании-застройщика, помимо теплонасосных установок система теплоснабжения включала в себя солнечный коллектор. Коллектор был устроен простейшим образом – по длинной стороне здания были наварены обычные стальные водогазопроводные (ВГП) трубы. В летнее время теплоноситель, подогретый в этом простейшем коллекторе теплотой солнечной радиации, закачивался в грунтовые теплообменники, тем самым грунтовый массив разогревался, то есть по сути происходило накапливание низкопотенциальной тепловой энергии. К началу отопительного периода удавалось подогреть окружающий грунтовый массив до температуры $+14^{\circ}\text{C}$ – это достаточно высокая температура. Затраты энергии при этом были минимальными – только на циркуляцию теплоносителя, то есть электрическая энергия на привод циркуляционных насосов. Такое решение позволило за счет накопления тепловой энергии избежать угрозы замораживания грунтового массива вокруг теплообменника в течение всего отопительного сезона.

В коттеджном поселке площади позволяли нормально разместить скважины даже с учетом удвоения их количества относительно первоначально запланированного числа.

Здание администрации поселка Птичное расположено на относительно небольшом участке. При бурении скважин на этом участке оказалось, что в данной местности известняки располагаются очень близко к поверхности грунта, на глубинах около 15 м. При столь мелких скважинах потребовалось значительно увеличить их количество; в окончательном варианте удалось, при условии сохранения пятиметрового интервала между скважинами, пробурить 72 скважины. Размещение столь большого числа скважин на относительно небольшом участке при условии сохранения приемлемого интервала между соседними скважинами составило достаточно трудную задачу. Часть скважин в итоге была пробурена даже непосредственно под зданием.

В здании администрации поселка Птичное установлен один тепловой насос. Для надежности можно было бы предусмотреть резервирование, однако по экономическим соображениям от этого варианта было решено отказаться. На случай аварии, выхода из строя теплового насоса либо контура грунтовых теплообменников предусмотрен аварийный электрический водонагреватель. Этот водонагреватель может быть включен в работу также в случае, если при экстремально низких температурах наружного воздуха мощность теплового насоса окажется недостаточной для покрытия отопительной нагрузки. Однако эксплуатация в первый отопительный сезон пока не подтверждает необходимости такого догрева посредством электроводонагревателя. Достаточно низкие температуры наружного воздуха в декабре 2009 года и в январе 2010 года, до -25°C и ниже, показали, что в помещениях здания администрации поселка Птичное удавалось

уверенно поддерживать температуру внутреннего воздуха на уровне $+18...+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Расчетные температуры в подающей и обратной магистрали контура напольного отопления составляли соответственно $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\Delta t = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Такой маленький перепад был выбран по соображениям увеличения теплосъема с единицы площади «теплого пола».

Теплоноситель подогревается посредством теплового насоса до температуры $+54\text{ }^{\circ}\text{C}$. Именно такая температура поддерживается в баке-аккумуляторе. Требуемая в контуре напольного отопления температура $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ устанавливается за счет подмеса обратного теплоносителя. Тепловой насос работает не постоянно: он включается в работу в случае, когда температура теплоносителя в баке-аккумуляторе падает ниже определенного значения. В этих условиях коэффициент преобразования теплового насоса составляет примерно 4,4. По расчетам, в начале отопительного сезона коэффициент преобразования должен составлять 5, а к концу, по мере захлаживания грунтового массива, опускаться до 4.



Одно из жилых зданий в коттеджном поселке Первомайское



Укладка труб напольного отопления. Обращает на себя внимание уменьшение шага укладки труб в зоне окон



Подключение контура напольного отопления в здании администрации поселка Птичное



Общий вид теплового пункта в здании администрации поселка Птичное



Тепловой насос и бак-аккумулятор контура напольного отопления

1.3 Солнечные коллекторы

Солнечное теплоснабжение зданий основано на применении двух принципиальных схем — пассивного и активного использования энергии солнца. Здание с пассивным использованием энергии солнца можно определить как климатически сбалансированное здание, в котором максимально используется теплота солнечной радиации для обогрева помещений без применения специальных технических устройств. Задача проектирования здания с пассивным использованием энергии солнца состоит в применении научно обоснованных взаимосвязанных архитектурно-конструктивных и объемно-планировочных мероприятий, способствующих утилизации теплоты солнечной радиации в тепловом балансе помещения в холодный период года и не приводящих к перегреву помещения в теплый период года. Архитектору следует иметь в виду: наибольший эффект экономии энергии достигается в здании с одновременным сбалансированным использованием активных и пассивных систем утилизации энергии солнца.

Очевидно, что задача проектирования зданий с пассивными приемами по использованию теплоты солнечной радиации для снижения расхода энергии на обогрев помещений должна решаться при научно обоснованном выборе: ориентации здания;

степени остекления наружных ограждений; местоположения светового проема в наружном ограждении и соотношения длины и высоты проема; способа регулирования тепло- и солнцезащиты заполнения светового проема; теплотехнических показателей материалов внутренних поверхностей помещения. Рациональной можно считать такую ориентацию здания, которая обеспечивает максимальные тепlopоступления от солнечной радиации в холодный период года, а планировочное решение — максимальные тепlopоступления в жилые помещения. Для южных районов рекомендуется принимать здания широтной ориентации, вытянутое в плане, чтобы обеспечить наибольшие поступления теплоты солнечной радиации в холодный период и наименьшие — в теплый период. В теплый период года не должно наблюдаться перегрева помещений, борьба с которым достигается применением архитектурно-конструктивных и объемно-планировочных солнцезащитных мероприятий. Например, спальные комнаты следует размещать так, чтобы они освещались солнцем в утренние часы, а остальные жилые комнаты — в дневные часы. Если летом спальные комнаты будут нагреваться солнцем в предвечерние часы, то ночью их трудно будет охлаждать.

Для обеспечения наибольших поступлений теплоты солнечной радиации в холодный период года световые проемы следует ориентировать на юг, а для защиты от поступлений теплоты солнечной радиации в теплый период года их следует оборудовать солнцезащитными устройствами. Особенно эффективно применение наружных и межстекольных теплоемких солнцезащитных устройств типа ставень или экранов из теплоизоляционных материалов, которые в холодный период года в ночное время обеспечивают дополнительную теплозащиту и снижение суточного расхода энергии на обогрев помещения до 20%.

Для ограждений южной ориентации с целью увеличения поступлений теплоты от солнечной радиации в холодный период года при низком стоянии солнца и уменьшении поступлений теплоты от солнечной радиации в теплый период года при высоком стоянии солнца целесообразно проектировать световые проемы, ширина которых больше высоты.

Увеличение коэффициента остекления ограждений южной ориентации с одновременным применением теплоемкой регулируемой солнцезащиты способствует улучшению суточного теплового баланса помещения. Однако увеличение коэффициента остекления сверх нормативных требований является недопустимым в общем случае. Широкое распространение в малоэтажном строительстве получила схема пассивного использования энергии солнца — конструкция Тромба-Мишеля. Эта конструкция реализуется следующим образом: у наружной ограждающей конструкции, ориентированной на юг, устраивают экран из одно- или двухслойного остекления так, что между слоями стекла образуются воздушные прослойки. Нагретый воздух из воздушной прослойки через специальные отверстия в верхней части стены поступает в помещение, которое обогревает, охлаждаясь при этом, и через специальные отверстия в нижней части стены возвращается в прослойку.

Активное использование солнечной энергии в отличие от пассивного основывается на применении гелиоустановок, преобразующих солнечную энергию в тепловую, используемую для теплоснабжения зданий. В простейшем случае гелиоустановка состоит из солнечного коллектора, утилизирующего солнечную энергию, и теплового аккумулятора. Теплоноситель (вода или воздух) нагревается, протекая через коллектор, и затем поступает в систему теплоснабжения здания и в тепловой аккумулятор, где отдает теплоту теплоаккумулирующему веществу. Тепловой аккумулятор выполняет функцию теплоисточника в периоды отсутствия солнечной радиации. Гелиоустановки классифицируются по следующим признакам: по способу преобразования солнечной энергии (кроме непосредственного нагрева теплоносителя известны электрохимический, фотоэлектрический, барогальванический и др.); по форме солнечного коллектора — плоские коллекторы и концентрирующие (с различной степенью концентрации); по типу

теплоносителя (вода, воздух).

Если предусматривается только отопление здания, то воздушная система предпочтительнее, так как она относительно проще и долговечнее. Но если требуется и система горячего водоснабжения, выбор между воздушной и водяной системами становится более сложным. Холодная вода может быть подогрета до подачи ее на водонагреватель. Такой подогрев холодной воды можно осуществить, пропуская ее через теплообменник в аккумулярующей емкости, что возможно как при водяной, так и при воздушной системе отопления. В первом случае змеевик проходит через водяной аккумулятор, во втором случае в контейнере с гравием, где можно установить несколько небольших проточных емкостей с водой или проложить змеевик.

На основе метода подачи теплоты в жилые помещения можно выбрать водяную или воздушную систему отопления. Принудительная циркуляция теплого воздуха больше совместима с воздушной системой, хотя может осуществляться и в сочетании с водяной системой. В этом случае воздух продувается через калорифер, по которому проходит горячая вода из аккумуляторного бака и нагретой подается в обогреваемое помещение. Если же для отопления используют водяные радиаторные панели, то предпочтение нужно отдать водяной системе. Тогда нагретая вода от коллектора может напрямую подаваться в отопительные приборы или тепловой аккумуляторный бак.

На выбор потока, транспортирующего теплоту, влияет объем здания. Чем больше здание, тем больше теплоты требуется на его отопление и тем длиннее пути транспортирующего потока. Если температура потока поддерживается невысокой, то, для того чтобы увеличить КПД коллектора, потребуется большой его объем. Поэтому жидкостная система предпочтительнее, так как сечение труб значительно меньше воздушных каналов.

Климат также может определить выбор между водяной и воздушной системами. Например, в холодном климате предпочтительнее воздушная система, так как при водяной системе возникает проблема замерзания, и в воду приходится добавлять антифриз или вообще спускать ее из системы, чтобы избежать ее замерзания.

Вода и воздух значительно дешевле и доступнее, чем масло или антифриз. Коллектор для воздушной системы значительно дешевле, чем водяной. Другие компоненты, такие, как тепловой аккумулятор и теплообменник (или его отсутствие), также стоят дешевле для воздушной системы. При выборе той или иной схемы воздушного или водяного отопления также нужно учитывать стоимость вентиляторов, насосов и автоматических регуляторов.

Системы солнечного теплоснабжения требуют устройства солнечных коллекторов, располагаемых, как правило, на крышах или вертикальных ограждениях, имеющих южную ориентацию. Площадь солнечного коллектора ориентировочно составляют около 1 м^2 на каждые 2 м^2 площади здания, т. е. солнечный коллектор становится значительным формообразующим элементом здания. Кроме того, поверхность солнечного коллектора может выполняться гладкой, волнистой, рифленой или трубчатой, к тому же черного цвета для лучшего восприятия солнечной энергии. Понятно, что такой крупногабаритный элемент должен являться органической частью здания. Традиционное размещение коллектора на крыше позволяет несколько уменьшить как стоимость крыши, так и стоимость коллектора. Однако это может вызвать некоторую монотонность застройки, поэтому в ряде случаев приходится идти на размещение коллекторов на земле, хотя это и менее рационально с точки зрения площади застройки.

В случае установки на здании вместо солнечных коллекторов солнечных концентраторов, как правило, параболоцилиндрических, задача архитектора упрощается, так как их можно расположить на плоской крыше, т. е. сделать их невидимыми с земли и

не влияющими на зрительное восприятие здания в целом.

Одним из важных элементов солнечных систем теплоснабжения является система аккумулирования теплоты, необходимость которой определяется неравномерностью поступления солнечной радиации в течение года. Размещение тепловых аккумуляторов в здании не требует, как правило, каких-либо особых архитектурных решений. Оптимальным является размещение аккумулятора в центре помещения и в нижнем уровне, что дает возможность избежать излишних теплотерь и обеспечивает естественную циркуляцию теплоносителя. Нежелательно размещать аккумуляторную на перекрытиях, так как они обладают значительным объемом и весом.

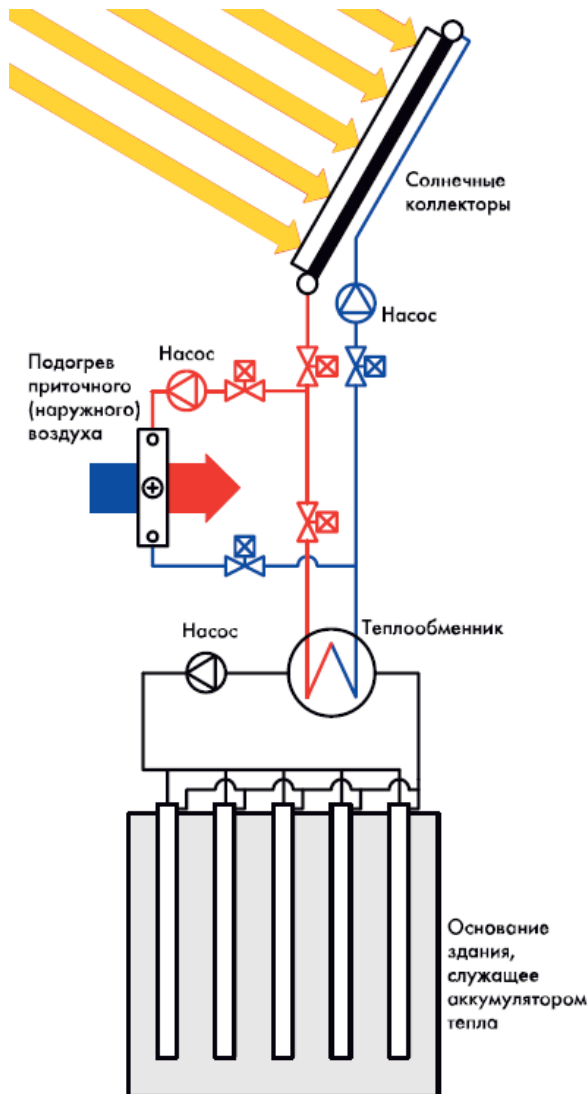


Рис. 3. Система солнечного теплоснабжения здания «Екопо» (Финляндия)

1.4 Фотоэлектрические панели

Фотоэлектрические панели (солнечные батареи) – устройства, в которых осуществляется прямое преобразование солнечной радиации в электрическую энергию.

Пример такого использования энергии солнца – здание Центра по изучению окружающей среды Адама Джозефа Льюиса (Оберлин, США). Для выработки электрической энергии в здании Центра используются фотоэлектрические панели, площадь которых составляет 434 м². Панели расположены на крыше здания. Для более эффективной работы фотоэлектрических панелей крыша имеет изгиб на южную сторону,

что обеспечивает максимальные поступления солнечной радиации и максимальную выработку электрической энергии.

Расчетное ежегодное потребление электрической энергии основными системами здания Центра составляет 63609 кВт·ч. Производство электрической энергии в фотоэлектрических панелях должно превысить потребление и составить 64500 кВт·ч. Пока эти показатели не достигнуты. Система фотоэлектрических панелей начала функционировать в середине ноября 2000 года, и к 1 февраля 2001 года выработала 3280 кВт·ч электроэнергии. С марта 2001 по март 2002 года в фотоэлектрических панелях было выработано 53% энергии, потребляемой зданием.

Кроме того, было предложено использовать электрическую энергию, вырабатываемую в фотоэлектрических панелях, для получения водорода и кислорода из воды методом электролиза, и затем перерабатывать водород в топливных элементах, для выработки электрической энергии и горячей воды. Это позволит обеспечивать электрической энергией все системы здания при облачных днях и ночью.

Другой пример использования фотоэлектрических панелей – высотное здание «Condé Nast Building@Four Times Square» (Нью-Йорк, США). Пиковая мощность фотоэлектрических панелей достигает 15 кВт. Фотоэлектрические панели расположены на верхних 19 этажах здания с южной и восточной сторон. Тонкопленочные фотоэлектрические элементы были наклеены на листы закаленного стекла и интегрированы в фасад между рядами окон в виде полос шириной 150 см. Панели, интегрированные в ограждающие конструкции, увеличивают теплозащитные характеристики ограждений.

Фотоэлектрические панели интегрированы в западный фасад многоэтажного жилого здания «Twenty River Terrace» (Нью-Йорк, США). Общая площадь панелей составляет 316 м². Электрическая энергия, вырабатываемая в фотоэлектрических панелях в течение года, позволяет покрыть до 5% общей энергетической нагрузки здания.

В течение года электрическая энергия вырабатывается неравномерно – в летнее время вырабатывается больше электроэнергии за счет большей интенсивности солнечной радиации. Это позволяет уменьшить пиковый расход электрической энергии из городской электросети, поскольку для климатических условий Нью-Йорка основные затраты энергии на климатизацию связаны с кондиционированием воздуха в летний период в дневное время.