

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Половинкина Е.О

Нижегородский Государственный Архитектурно-Строительный

Университет

Нижегород, Россия

USAGE OF HEAT PUMPS IN HEATING SYSTEMS OF BUILDING AND STRUCTURES

Polovinkina E.O

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering

NizhnyNovgorod, Russia

Содержание

Введение.....	3
1. Принцип действия теплового насоса.....	4
1.1 Термодинамический цикл теплового насоса.....	6
1.2 Принцип действия компрессионного теплового насоса.....	7
1.3 Коэффициент преобразования теплового насоса.....	7
2. Источники теплоты и типы тепловых насосов.....	10
2.1. Тепловой насос «грунт-вода».....	11
2.1. Тепловой насос «вода-вода».....	14
2.1. Тепловой насос «воздух-вода».....	18
3. Основные положения для проектирования систем теплоснабжения с использованием тепловых насосов.....	20
4. Достоинства и недостатки тепловых насосов.....	25
4.1. Анализ стоимости получения тепловой энергии и целесообразности применения тепловых насосов.....	26
5. Применение тепловых насосов в системах теплоснабжения на примере теплоснабжения жилого дома в Нижегородской области.....	28
Заключение.....	32
Список использованных источников.....	33

Введение

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов представляет собой одну из актуальных проблем. Одним из перспективных путей решения этой проблемы является применение новых энергосберегающих технологий, основанных на использовании нетрадиционных источников энергии.

Теплоснабжение и холодоснабжение с помощью тепловых насосов относится к области экологически чистых энергосберегающих технологий и получает все большее распространение в мире. Эта технология по заключению целого ряда авторитетных международных организаций, наряду с другими энергосберегающими технологиями (использование солнечной, ветровой энергии, энергии Океана и т.п.), относится к технологиям XXI века.

Целью данной работы является изучение вопросов, связанных с использованием теплонасосных установок для теплоснабжения зданий и сооружений.

В работе ставятся следующие задачи: рассмотрение принципа действия теплового насоса и его конструкции, изучение типов источников теплоты на основе теплонасосных установок, определение основных положений для проектирования систем теплоснабжения с использованием тепловых насосов, анализ эффективности использования систем теплоснабжения с тепловыми насосами.

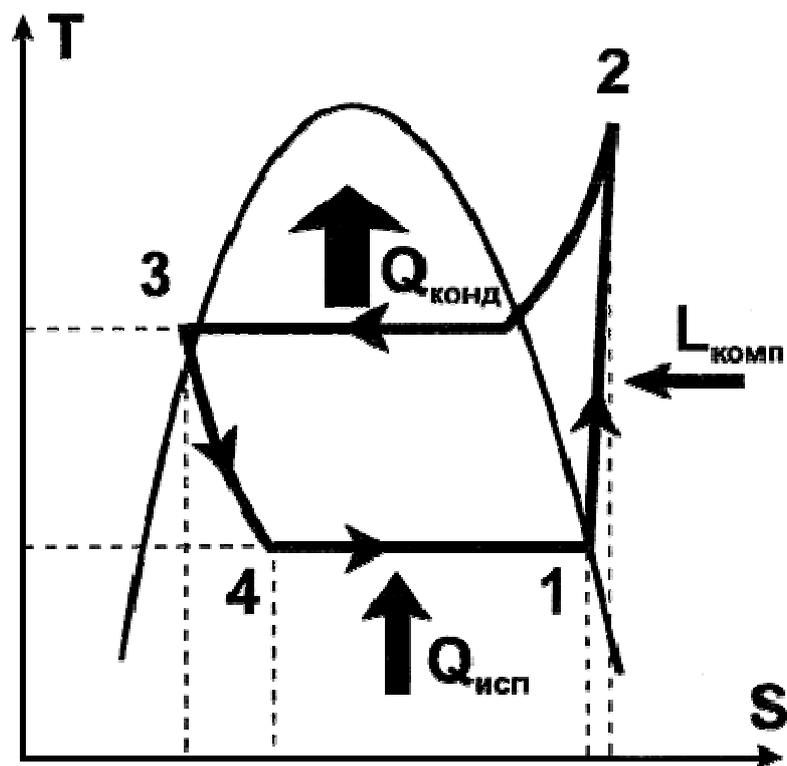
1. Принцип действия теплового насоса.

1.1 Термодинамический цикл теплового насоса

Термодинамический тепловой насос представляет собой обращенную холодильную машину и, по аналогии, содержит испаритель, конденсатор и контур, осуществляющий термодинамический цикл. Основные типы термодинамических циклов - абсорбционный и, наиболее распространенный, парокомпрессионный. Если в холодильной машине основной целью является производство холода путем отбора теплоты из какого-либо объема испарителем, а конденсатор осуществляет сброс теплоты в окружающую среду, то в тепловом насосе картина обратная. Конденсатор является теплообменным аппаратом, выделяющим теплоту для потребителя, а испаритель-теплообменным аппаратом, утилизирующим низкопотенциальную теплоту: вторичные энергетические ресурсы и (или) нетрадиционные возобновляемые источники энергии.

Термодинамический цикл теплового насоса в T-S диаграмме (где T-температура, S-энтропия) представлен на рисунке 1.1.[6]

Точка 1 на схеме соответствует состоянию сухого насыщенного пара, образовавшегося в результате полного испарения жидкой фазы хладагента в испарителе теплового насоса. Далее происходит сжатие хладагента в компрессоре (процесс 1-2), при этом давление и температура хладагента резко повышаются. Перегретый пар в состоянии 2 с достаточно высокой температурой подается в конденсатор, где сначала охлаждается по изобаре до сухого насыщенного состояния и затем конденсируется до жидкого состояния (точка 3), отдавая при этом суммарную тепловую энергию, величина которой равна сумме энергии, полученной при кипении хладагента в испарителе, и энергии, эквивалентной работе сжатия хладагента в реальном компрессоре. Затем жидкий хладагент проходит через дросселирующий клапан, при этом снижается давление и, соответственно, температура хладагента (процесс 3-4). Процесс дросселирования проходит практически адиабатно, поэтому с большой точностью процесс 3-4 считают изоэнтальпийным. При этом хладагент частично испаряется. Далее хладагент (с температурой ниже, чем у низкопотенциального источника) поступает в испаритель, где кипит, отбирая теплоту от низкопотенциального источника (процесс 4-1).



- 1-2 сжатие в компрессоре
- 2-3 отвод тепла к потребителю
- 3-4 расширение через дроссель
- 4-1 подвод тепла от низкопотенциального источника

Рис. 1.1 Термодинамический цикл теплового насоса в T-S диаграмме

1.2 Принцип действия компрессионного теплового насоса.

Принципиальная схема работы компрессионного теплового насоса представлена ниже (см. рис. 1.2).

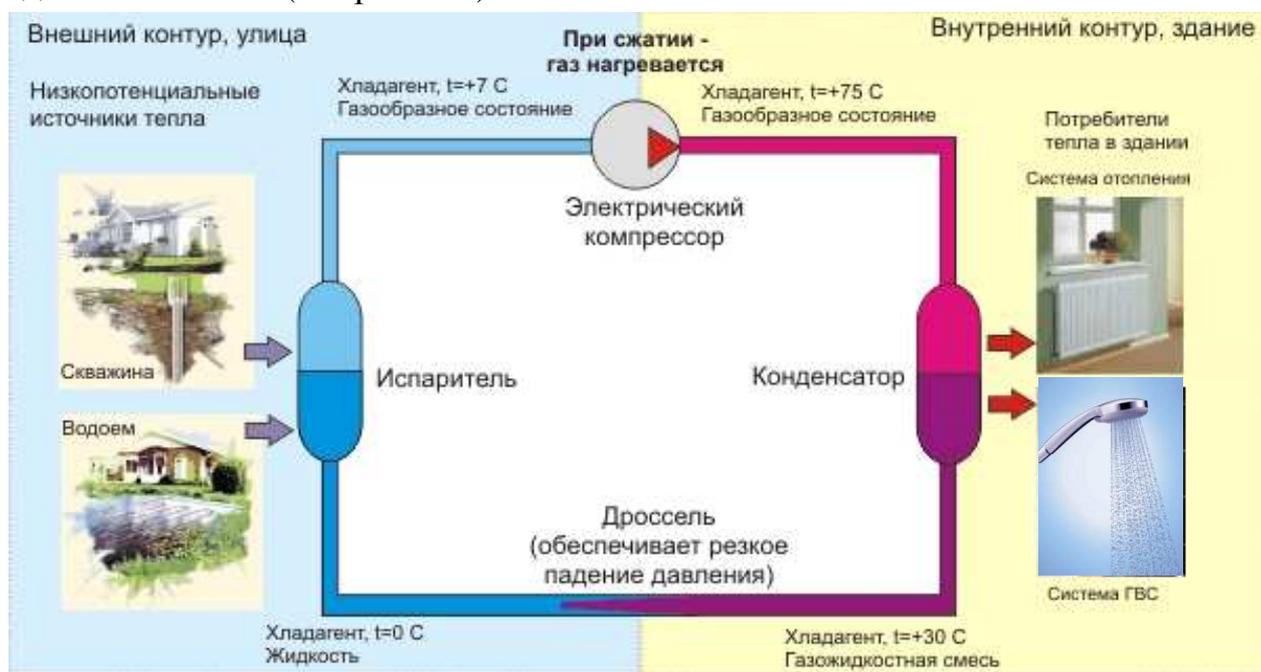


Рис.1.2 Принципиальная схема работы компрессионного теплового насоса

В основу принципа действия компрессионного теплового насоса положены два физических явления:

- явление поглощения и выделения теплоты веществом при изменении агрегатного состояния - испарении и конденсации соответственно;
- изменение температуры испарения и конденсации при изменении давления;
- использование жидкостей, имеющих низкую температуру кипения.

Основные элементы парокompрессионного контура - теплообменник-испаритель, теплообменник-конденсатор, компрессор и дроссель.

Тепловой насос работает следующим образом:

1. В теплонасосных установках существует 3 основных контура – внешний (первичный), внутренний и отопительный (вторичный). Внешний контур - это конструкции, с помощью которых можно отобрать теплоту из окружающей среды. В зависимости от источника теплоты это может быть водяной, земляной, воздушный и другие внешние контуры (в основном представляет собой трубопроводы, по которым циркулирует теплоноситель – жидкость, имеющую низкую температуру замерзания, «антифриз»). Температура теплоносителя на входе в этот контур должна быть меньше

температуры окружающей среды. Теплоноситель, проходя по внешнему контуру, нагревается на несколько градусов, забирая теплоту от низкопотенциального источника тепла (грунт, воздух, водоём и т.д). Далее он поступает в испаритель.

2. В испарителе теплоноситель («антифриз»), отдает собранное из окружающей среды тепло хладагенту, который циркулирует во внутреннем контуре теплового насоса. (Температура теплоносителя выше температуры хладагента, за счет чего и происходит передача тепла). Хладагент, имея очень низкую температуру кипения, проходя через испаритель, закипает и превращается из жидкого состояния в газообразное. Этот процесс происходит при низком давлении.

3. Из испарителя газообразный хладагент попадает в компрессор, где он сжимается до высокого давления и его температура резко повышается.

4. Далее нагретый хладагент в газообразном состоянии поступает во второй теплообменник, конденсатор. В конденсаторе происходит теплообмен между горячим хладагентом и теплоносителем (рабочая жидкость системы отопления, например, вода) из обратного трубопровода системы отопления дома. Хладагент отдает свое тепло в систему отопления, охлаждается и снова переходит в жидкое состояние, а нагретый теплоноситель системы отопления поступает к отопительным приборам.

5. При прохождении хладагента через редукционный клапан давление понижается, и, соответственно, понижается его температура. На этом этапе хладагент находится в жидком состоянии, лишь частично испаряясь. Затем хладагент попадает в испаритель, и цикл повторяется снова.

1.3 Коэффициент трансформации (преобразования) теплоты теплового насоса.

Как и холодильная машина, тепловой насос (ТН) потребляет энергию на реализацию термодинамического цикла (привод компрессора). Коэффициент преобразования теплового насоса (или **COP** — от английского Coefficient of performance) - отношение теплопроизводительности к электропотреблению - зависит от уровня температур в испарителе и конденсаторе и колеблется в различных системах в диапазоне от 2,5 до 5, т.е. на 1 кВт затраченной электрической энергии тепловой насос производит от 2,5 до 5 кВт тепловой энергии. Температурный уровень теплоснабжения от тепловых насосов 35-55 °С. Экономия энергетических ресурсов достигает 70%.

Промышленность технически развитых стран выпускает широкий ассортимент парокомпрессионных тепловых насосов тепловой мощностью от 5 до 1000 кВт.

На рисунке 1.3 представлены зависимости идеального и действительного (реального) коэффициента преобразования ТН от температур испарения и конденсации хладагента.[5]

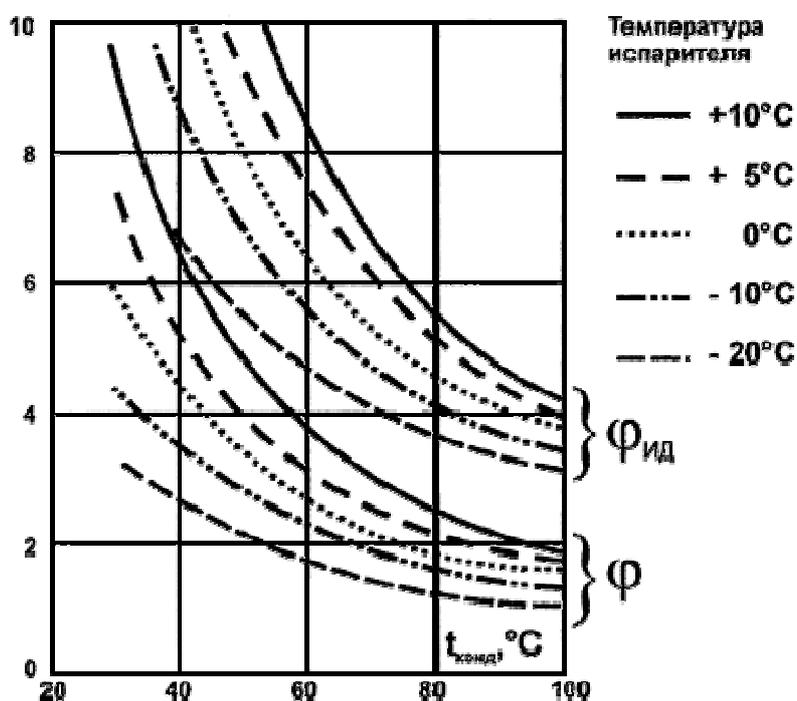


Рис. 1.3 Зависимость идеального и действительного (реального) коэффициента преобразования ТН от температур испарения и конденсации хладагента

Энергетический баланс ТН записывается следующим образом:

$$Q_{\text{конд}} = Q_{\text{исп}} + L_{\text{комп}},$$

где $Q_{\text{конд}}$ - теплота, отводимая от конденсатора;

$Q_{\text{исп}}$ - теплота, подводимая к испарителю;

$L_{\text{комп}}$ - работа компрессора.

Коэффициент преобразования ТН определяется по формуле:

$$\varphi = Q_{\text{конд}} / L_{\text{комп}} = \alpha \cdot T_{\text{конд}} / (T_{\text{конд}} - T_{\text{исп}}), \text{ где}$$

$T_{\text{конд}}$ - температура конденсации рабочего тела;

$T_{\text{исп}}$ - температура испарения рабочего тела;

α - суммарный коэффициент потерь ТН (потери цикла, потери в компрессоре, потери от необратимости при теплопередаче и т.п.).

Идеальный коэффициент преобразования ТН:

$$\varphi_{\text{ид}} = T_{\text{конд}} / (T_{\text{конд}} - T_{\text{исп}}).$$

2. Источники теплоты и типы тепловых насосов.

Основной целью проектирования систем тепло-холодоснабжения, предусматривающих применение тепловых насосов является выбор рациональных энергосберегающих технических решений.

При проектировании систем тепло-хладоснабжения (отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, горячего водоснабжения) зданий и сооружений с использованием тепловых насосов и тепловых узлов к ним следует руководствоваться следующими нормативными документами:

- СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»;
- СП 30.13330.2012 «Внутренний водопровод и канализация зданий»;
- СП 124.13330.2012 «Тепловые сети»;
- МГСН 2.01-99 «Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению»;
- СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов»,

а также другими нормативными документами федерального и регионального уровня, касающимися энергосбережения при проектировании объектов индивидуального и общественного жилищного строительства, объектов коммунального и промышленного строительства.

Системы теплоснабжения с использованием тепловых насосов - теплонасосные системы теплоснабжения - могут применяться для отопления, вентиляции, обеспечения теплотой на нужды горячего водоснабжения и технологических процессов.

В качестве низкопотенциальных (низкотемпературных) источников теплоты могут использоваться:

а) вторичные энергетические ресурсы:

- теплота вентиляционных выбросов;
- теплота серых канализационных стоков;
- сбросная теплота технологических процессов и т.п.

б) нетрадиционные возобновляемые источники энергии:

- теплота окружающего воздуха;
- теплота грунтовых и геотермальных вод;
- теплота водоемов и природных водных потоков;
- теплота солнечной энергии и т.п.;
- теплота поверхностных и более глубоких слоев грунта.

В зависимости от сочетания вида источника низкопотенциальной теплоты и нагреваемой среды тепловые насосы делятся на следующие типы [8]:

- воздух – воздух (теплота забирается из окружающего воздуха, а в качестве теплоносителя в системе теплоснабжения выступает воздух);

- воздух - вода;

- грунт - воздух;

- грунт - вода;

- вода - воздух;

- вода - вода.

Эти типы тепловых насосов отличаются конструктивным исполнением теплообменной части (испарителя и конденсатора) и температурными режимами реализуемых термодинамических циклов.

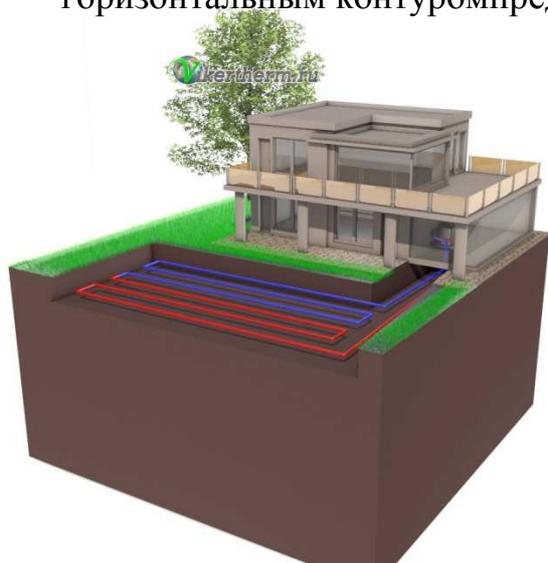
2.1 Тепловой насос «грунт-вода»

Самые эффективные, но и самые дорогие схемы предусматривают отбор тепла от грунта, чья температура не меняется в течение года уже на глубине нескольких метров, что делает установку практически независимой от погоды. Замкнутый контур может быть как горизонтальным, так и вертикальным.

Закрытый контур – это прокачка теплоносителя по трубам размещенным в земле (или водоеме). В процессе прокачки теплоноситель забирает тепло грунта (воды) или отдаёт им это тепло (когда система работает на охлаждение здания в летний период).

Открытый контур – это подача подземных (или грунтовых) вод из скважины вверх, до теплонасоса, теплообмен (плюс отбор воды для хозяйственных нужд) и закачивание охлаждённой (отработанной) воды в тот же подземный горизонт через другую, приемную скважину.

Схема работы геотермального теплового насоса замкнутого типа с горизонтальным контуром представлена на рис. 2.2.



Контур размещается кольцами или волнисто в горизонтальных траншеях ниже глубины промерзания грунта (рис. 2.1). Глубина зависит от географической широты местности. Этот способ является наиболее экономически эффективным для жилых объектов при отсутствии дефицита земельной площади под контур.

Рис. 2.1. Отбор теплоты от грунта с горизонтальным замкнутым контуром

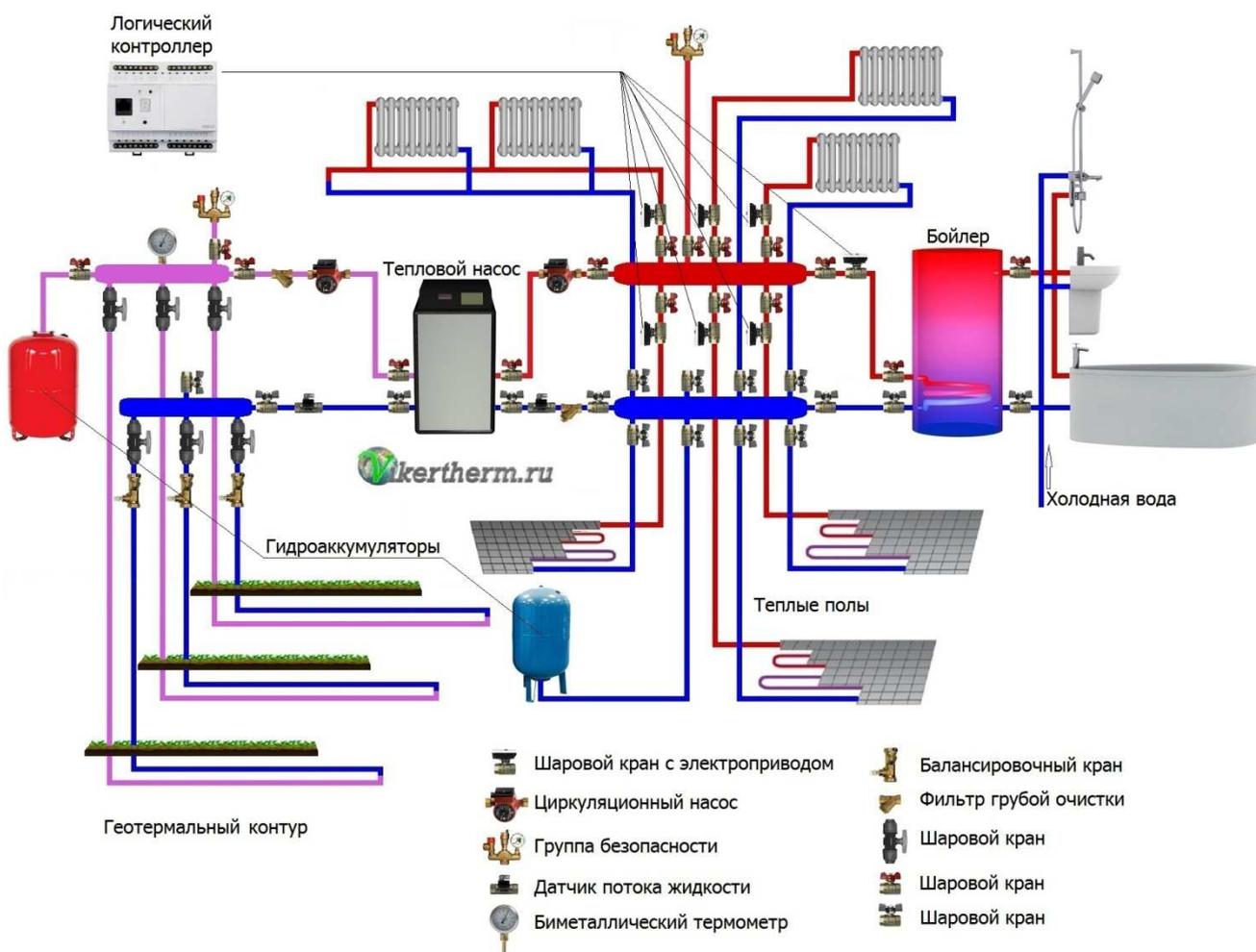


Рис. 2.2 Схема работы геотермального теплового насоса замкнутого типа.

Трубопровод, в котором циркулирует антифриз, зарывают в землю на 30-50 см. ниже уровня промерзания почвы. Минимальное рекомендуемое расстояние между трубами коллектора - 1,5 метра, минимум - 1,2. Здесь не требуется бурение, но требуются более обширные земельные работы на большой площади, и трубопровод более подвержен риску повреждения. Эффективность такая же, как при отборе тепла из скважины. Специальной подготовки почвы не требуется. Но желательно использовать участок с влажным грунтом, если же он сухой, контур надо сделать длиннее. Ориентировочное значение тепловой мощности, приходящейся на 1 м трубопровода в год: в глине - 50-60 кВт*ч, в песке - 30-40 кВт*ч, для умеренных широт, на севере цифры меньше. Таким образом, для установки теплового насоса производительностью 10 кВт необходим земляной контур длиной 350-450 м, для укладки которого потребуется участок земли площадью около 400 м² (20x20 м). При правильном расчёте контур не влияет на зелёные насаждения.

Схема работы геотермального теплового насоса замкнутого типа с вертикальным контуром представлена на рис. 2.4.



Контур размещается вертикально в пробуренную вертикальную скважину, или несколько таких скважин (рис. 2.3). Глубина скважин и погонные метры контура, зависит от объёма обогреваемой площади и состава грунта. Этот способ применяется в случаях, когда площадь земельного участка не позволяет уложить контур горизонтально или угроза повреждения ландшафта.

Рис 2.3 Отбор теплоты от грунта с вертикальным замкнутым контуром

Такой способ, требует бурения скважины на достаточную глубину (50 -140 метров) или нескольких таких скважин. В скважину опускается U-образный груз с двумя пластиковыми трубками, составляющими контур. Трубki заполняются антифризом. По экологическим соображениям это 30% раствор этилового спирта. При недостаточной длине скважины, или попытке получить от грунта более высокую мощность, то вода и даже антифриз могут замёрзнуть, что и ограничивает максимальную тепловую мощность таких систем. Ориентировочно на 1 погонный метр скважины приходится в год 50 кВт*ч тепловой энергии. Таким образом, для установки теплового насоса производительностью 10 кВт необходима скважина глубиной около 200 м. Нецелесообразно бурить на глубину 200 метров, дешевле сделать несколько скважин меньшей глубины через 10-20 метров друг от друга.

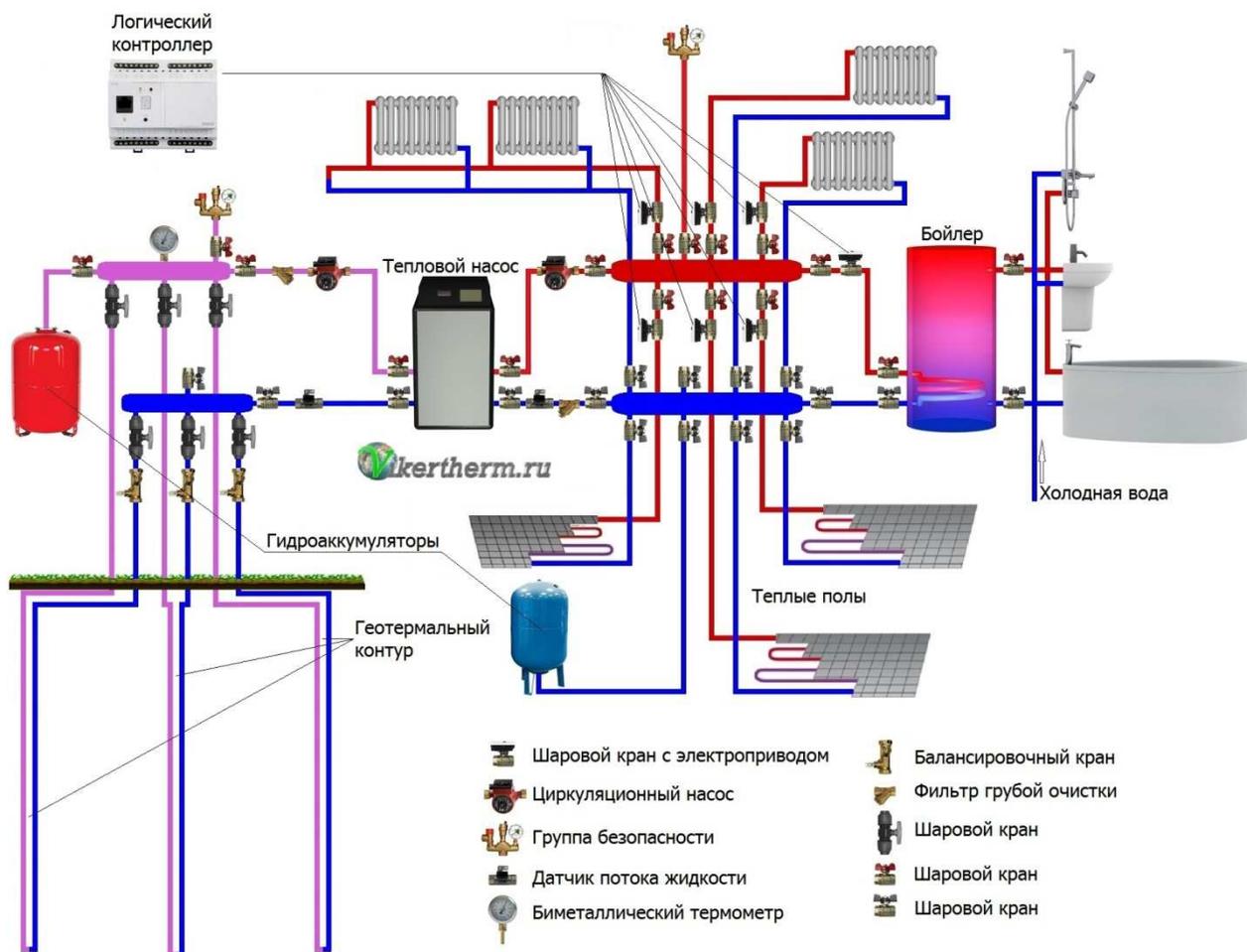


Рис. 2.4. Схема работы геотермального теплового насоса замкнутого типа с вертикальным контуром.

2.2 Тепловой насос вода-вода.

2.2.1 Геотермальный тепловой насос замкнутого типа для отбора теплоты от водоёма.

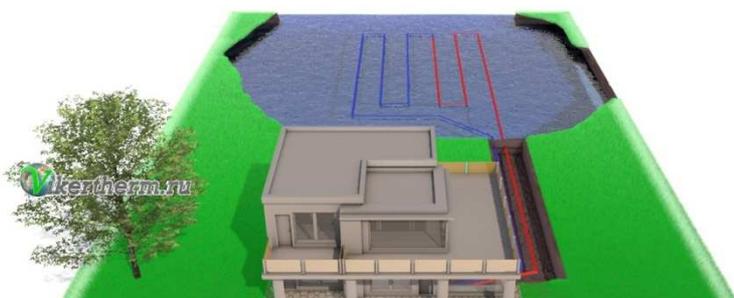


Рис 2.5 Отбор теплоты от водоёма с геотермальным тепловым насосом замкнутого типа.

Контур такой системы размещается волнисто или кольцами в водоём (озеро, пруд, река) ниже глубины промерзания (рис 2.5). Это самый экономичный вариант.

При использовании в качестве источника тепла близлежащего водоёма контур укладывается на дно.

Глубина не менее 2х метров, зависимо от географической широты местности. Коэффициент преобразования энергии тепловым насосом такой же, как при отборе тепла от грунта. Ориентировочное значение тепловой мощности на 1 м трубопровода - 50 Вт. Таким образом, для установки теплового на-

соса производительностью 10 кВт необходимо уложить в озеро контур длиной 200 м. Чтобы трубопровод не всплывал, на 1 пог.м. устанавливается около 5 кг груза.

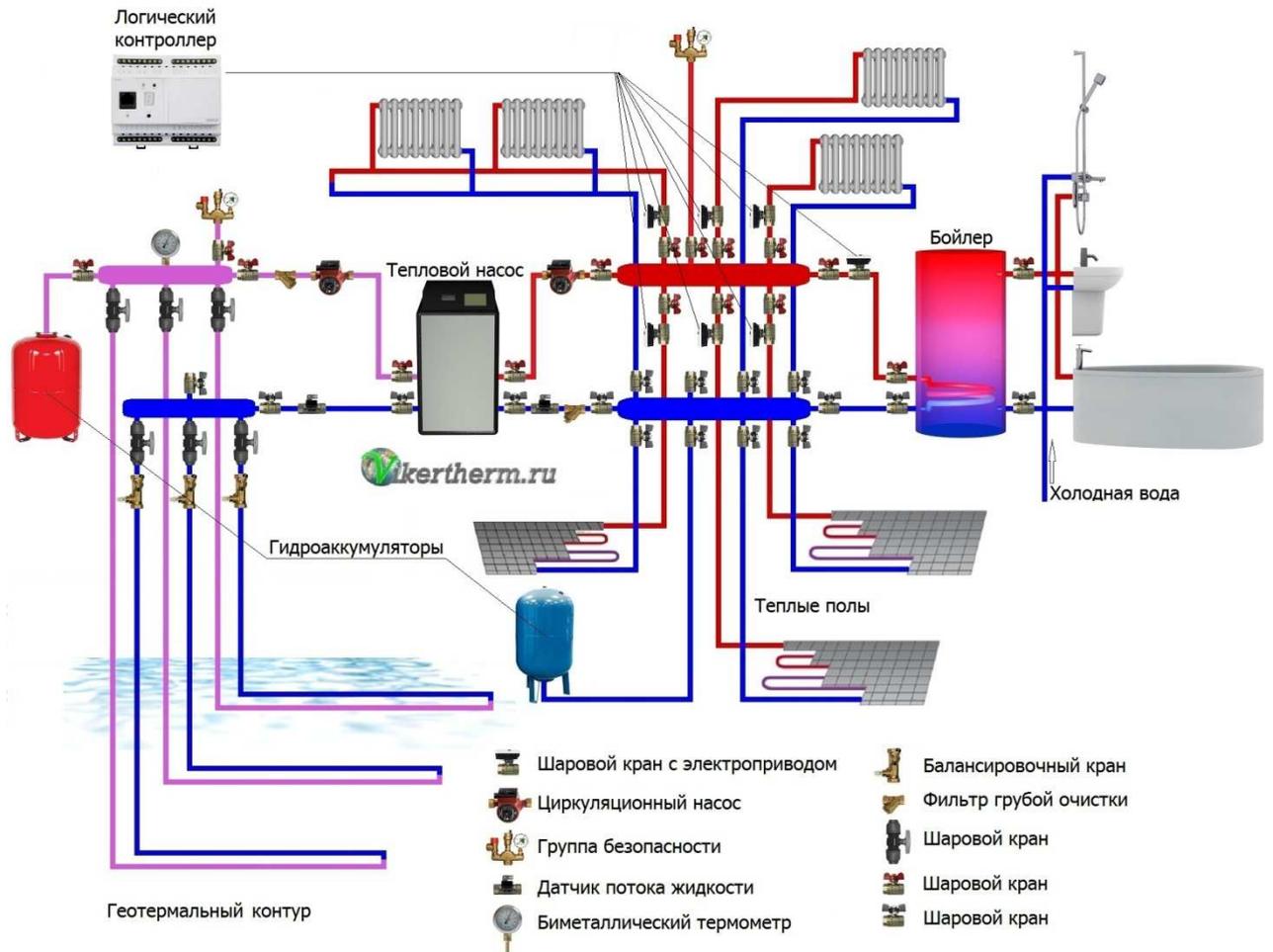


Рис. 2.6. Схема работы геотермальный теплового насоса замкнутого типа для отбора теплоты от водоема.

2.2.2 Геотермальный тепловой насос открытого типа для отбора теплоты грунтовых вод.



Бурится две скважины на расстоянии 10-20м. друг от друга. Далее, из одной скважины вода поднимается на поверхность, там стоит система теплового насоса, которая производит теплообмен. Отбираем у проходящей воды 3-4 градуса, а потом вода сливается во вторую скважину (рис.2.7). Глубина скважин определяется глубиной залегания водоносных слоев, а так же, дебетом таких скважин.

Рис 2.7 Отбор теплоты грунтовых вод геотермальным тепловым насосом открытого типа.

Для получения мощности аналогично той, что мы рассматривали в предыдущих примерах, необходимо обеспечивать перекачку воды в объеме 1,2-2 куб. м/час. Скважины располагаются таким образом, чтобы вода не попадала в повторную обработку, для этого, сливная скважина бурится ниже по течению заборной. Схема работы геотермального теплового насоса открытого типа с отбором тепла грунтовых вод представлена на рис. 2.8.

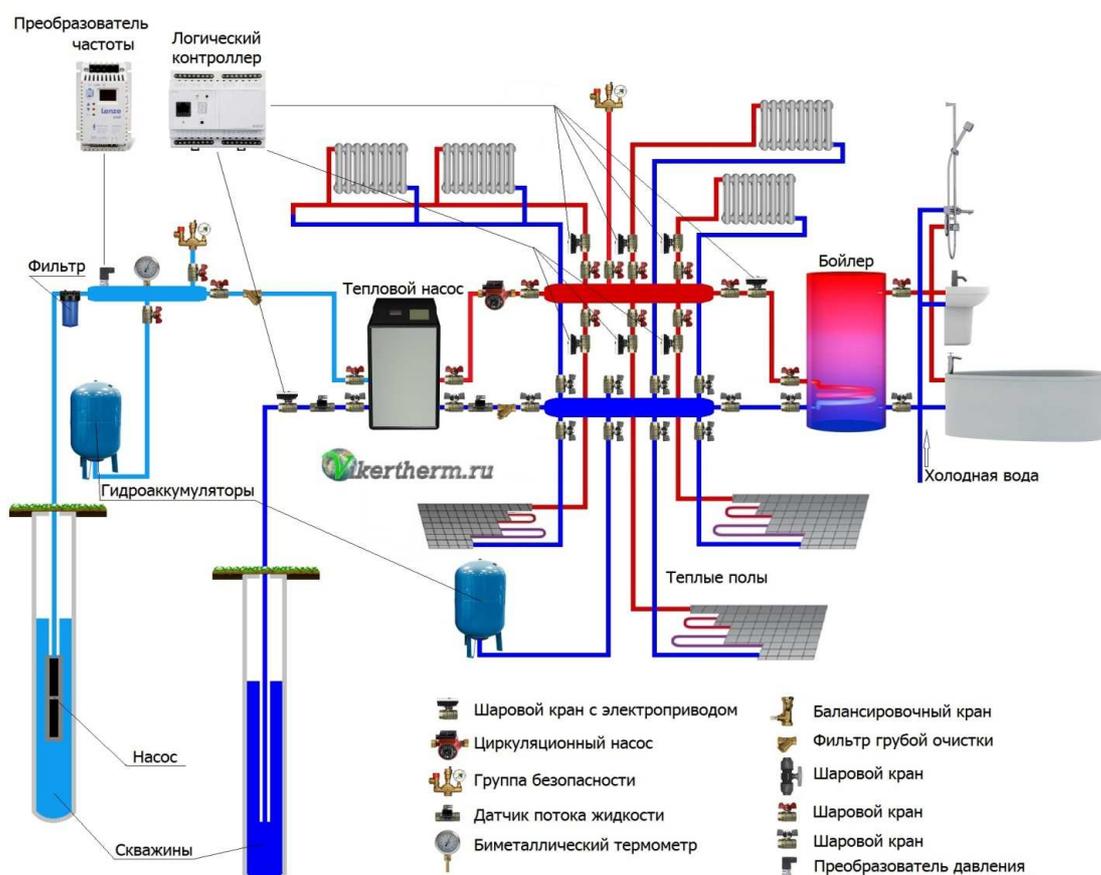


Рис. 2.8. Схема работы геотермального теплового насоса открытого типа с отбором теплоты грунтовых вод.

2.2.3 Геотермальный тепловой насос открытого типа для отбора тепловой энергии подземных вод.



Одна и та же скважина, может быть как эксплуатационной, так и нагнетательной. В нижнюю часть скважины помещается насос, посредством которого вода из скважины подается к испарителю теплового насоса. Обратная вода возвращается в верхнюю часть водяного столба в ту же скважину (рис. 2.9). Обычно скважины такого типа используются и для снабжения здания питьевой водой.

Рис 2.9 Отбор теплоты подземных вод геотермальным тепловым насосом открытого типа.

Однако такая система может работать эффективно только в почвах, которые обеспечивают постоянную подпитку скважины водой, что предотвращает ее замерзание.

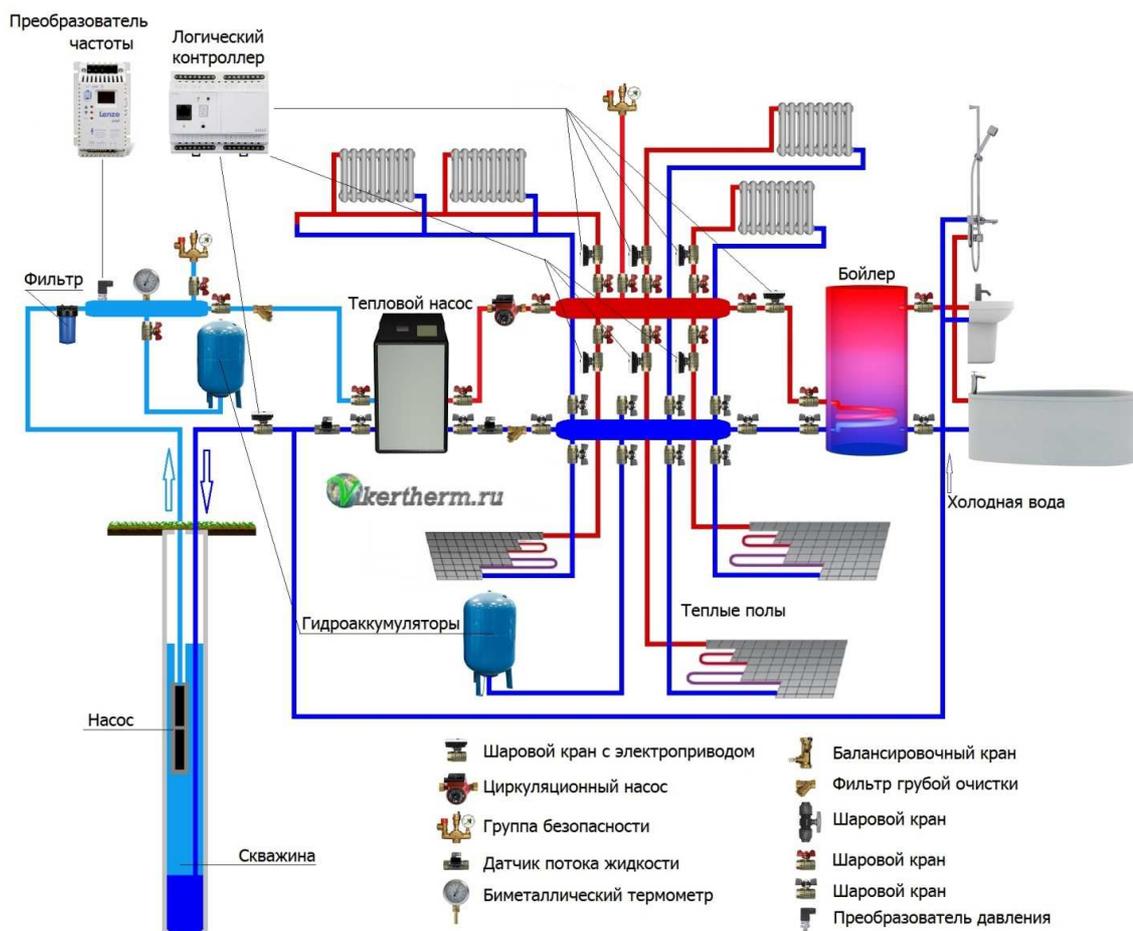


Рис. 2.10. Схема работы геотермального теплового насоса открытого типа с отбором тепловой энергии подземных вод.

2.3. Тепловой насос воздух-вода



Тепловой насос воздух вода – оборудование, предназначенное для извлечения тепла из атмосферного воздуха, дальнейшего использования в системах горячего водоснабжения и отопления зданий.

Такие тепловые насосы легки в установке, не требуют бурения скважин и прокладки труб. Конструкция данного вида оборудования может быть выполнена в виде сплит-системы либо моноблока.

Рис 2.11 Отбор теплоты из атмосферного воздуха.

Сплит-система состоит из двух блоков – наружного и внутреннего, которые соединяются коммуникациями. Наружный блок укомплектован вентилятором и испарителем, он устанавливается в небольшом удалении от дома. Внутренний блок содержит конденсатор и автоматику, его монтируют внутри дома.

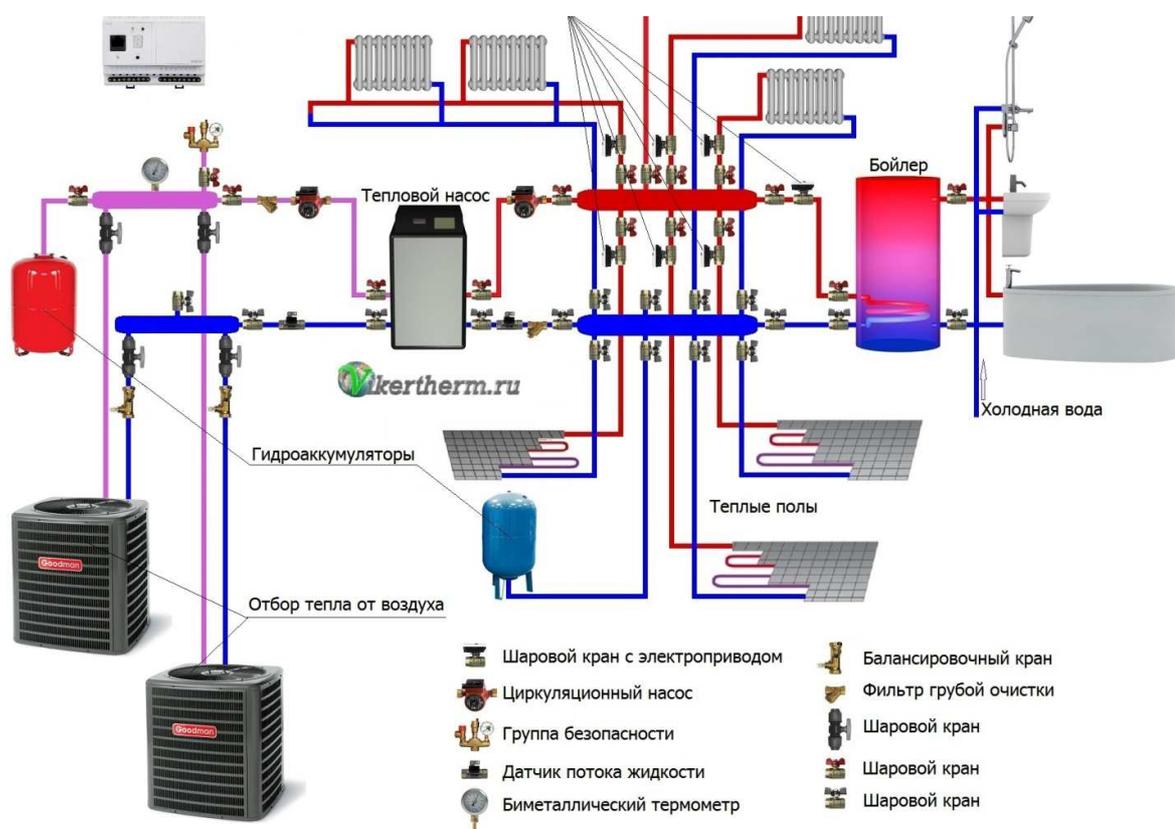


Рис. 2.10. Схема работы теплового насоса открытого типа с отбором теплоты из атмосферного воздуха.

По универсальности применения климатических условия северных широт, этот тип насосов пока проигрывает другим типам насосов. Хотя сами насосы

дешевле, и прокладки труб или бурения скважин не требуется, но из морозного воздуха толку то мало. Поэтому такие тепловые насосы рекомендуется использовать только в южных широтах, где максимальная температура зимой не опускается ниже -15°C .

3. Основные положения и особенности проектирования систем теплоснабжения с тепловыми насосами.

При проектировании зданий и сооружений с применением энергосберегающих технологий, в том числе с применением тепловых насосов, использующих теплоту вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных источников энергии, необходимо рассматривать объект как единое целое. На ранних стадиях проектирования необходимо добиваться согласованности технических решений по архитектуре, конструкции и инженерным системам с целью выбора оптимальных схем внедрения энергосберегающих технологий, обеспечивающих минимальные сроки окупаемости дополнительных капитальных затрат.

Теплонасосные системы теплоснабжения проектируются для каждого конкретного объекта в зависимости от энергетических нагрузок, почвенно-климатических условий района строительства и стоимости энергоносителей.

Использование теплоты окружающего воздуха и солнечной энергии в качестве единственных источников низкопотенциальной теплоты малоэффективно, но в сочетании с другими, более стабильными, источниками (например, теплотой грунта) вполне возможно.

При проектировании конкретных объектов необходимо проанализировать геологические данные по участку застройки и, при необходимости (как правило, для крупных объектов), произвести разведочное бурение.

Решение об использовании энергосберегающих теплонасосных систем целесообразно принимать на стадии разработки и утверждения задания на проектирование [5].

Предпосылками для применения таких систем могут служить следующие обстоятельства:

- удаленность от систем централизованного теплоснабжения;
- ограничение в использовании электроэнергии для прямого нагрева при теплоснабжении;
- наличие вторичных энергетических ресурсов (вентиляционных выбросов, сбросной теплоты технологических процессов, серых канализационных стоков и т.п.);
- наличие холодильной нагрузки;
- относительно низкий температурный потенциал тепловых нагрузок (напольное отопление, вентиляция, подогрев воды в бассейнах и т.п.);
- большой объем требований технических условий на подключение к внешним источникам теплоснабжения.

Этапы проектирования обязательно должны содержать стадию технико-экономического обоснования(ТЭО).

На этой стадии наряду с архитектурой должны быть достаточно глубоко проработаны инженерные разделы, согласованы различные инженерные системы между собой и с теплонасосной системой теплоснабжения в части использования вторичных энергетических ресурсов и покрытия различных тепловых нагрузок с учетом графиков их изменения во времени.

Теплонасосные системы теплоснабжения (ТСТ), как правило, состоят из системы сбора низкопотенциального тепла, собственно тепловых насосов и традиционных источников тепловой энергии для покрытия пиковых нагрузок. В некоторых случаях применяются аккумуляторы тепловой энергии. Такие схемы, как правило, применяются для систем горячего водоснабжения с целью выравнивания суточной неравномерности потребления горячей воды.

Системы сбора низкопотенциального тепла представляют собой различные теплообменные аппараты, утилизирующие вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) и нетрадиционные возобновляемые источники энергии (НВИЭ) и включенные в единый с испарителями тепловых насосов контур, по которому циркулирует теплоноситель. Если по режимным параметрам температура в этом контуре может быть ниже 0 °С, то в качестве теплоносителя используются антифризы, например, на основе водных растворов этиленгликоля. Система должна постоянно обеспечивать испарители тепловых насосов низкопотенциальной тепловой энергией. В связи с этим в системе целесообразно комбинировать различные виды низкопотенциальных источников теплоты.

Тепловые насосы, как наиболее дорогое оборудование, подбираются по мощности на величину базовых нагрузок по графику их изменения. Это обеспечивает максимальное использование тепловых насосов и более стабильный режим их работы.

Для обеспечения надежности работы системы в схеме предусматривается несколько агрегатов, за исключением случаев, когда надежность агрегатов обеспечивается их внутренним устройством.

В качестве дополнительных традиционных источников тепловой энергии, предназначенных для покрытия пиковых нагрузок, целесообразно применять нагреватели, легко поддающиеся автоматизации работы, например, электрические или газовые. Нагреватели могут устанавливаться по отношению к тепловым насосам как параллельно (со смешиванием потоков теплоносителя), так и последовательно (догревание теплоносителя).

На стадии ТЭО необходимо рассмотреть комплекс традиционных мероприятий по энергосбережению:

- рациональные архитектурно-планировочные решения по конфигурации

зданий и сооружений и расположению их на местности;

- применение энергосберегающих ограждающих конструкций;
- использование энергосберегающей системы вентиляции, в том числе с возможностью рекуперативного подогрева приточного воздуха вытяжным;
- создание рациональной системы отопления с применением автоматизированных узлов управления и учета тепловой энергии;
- установка экономичных устройств водоразбора в системе горячего водоснабжения с применением регуляторов давления;
- применение энергоэкономичных светильников и других электроприборов, устройств для частотного регулирования электрических машин и т.п.

Целесообразно рассмотреть 2-3 варианта схем ТСТ для выбора наиболее оптимального решения. Принципиальные схемы ТСТ выбираются на основе тепловых и технико-экономических расчетов.

Одной из основных проблем, решаемых при проектировании теплонасосных систем теплоснабжения, является проблема выбора установленной тепловой мощности системы.

Выбор установленной мощности должен производиться на основе технико-экономического расчета, рассматривающего наряду с энергосберегающей теплонасосной системой теплоснабжения все здание или сооружение со всеми инженерными системами.

Специфика эксплуатационных особенностей теплонасосных систем теплоснабжения, использующих низкопотенциальное тепло грунта, существенно влияет на эффективность дальнейшей эксплуатации рассматриваемых систем. Отбор (или сброс) тепловой энергии из грунтового массива в процессе эксплуатации системы теплосбора может вызывать значительные изменения температуры грунта в годовом цикле относительно его естественной. Это в значительной степени осложняет задачу прогнозирования теплового поведения системы теплосбора в годовом цикле и вынуждает использовать при проектировании систем теплосбора сложные пространственные математические модели, учитывающие процессы распространения тепла по трем координатным осям.

В результате проведенных на компьютерных моделях исследований по оценке эксплуатационных воздействий систем теплосбора на естественный температурный режим грунта было установлено, что эксплуатация характеризуется тремя основными периодами.

Первый период, с начала отопительного сезона продолжительностью до 200 часов (8 суток), характеризуется ярко выраженной нестационарностью теплового режима грунтового массива и, вследствие этого, значительными

изменениями температур грунта вблизи труб грунтового теплообменника. Для этого периода весьма характерным является тот факт, что грунтовой теплообменник оказывает весьма существенное тепловое влияние на слои грунта, находящиеся в непосредственной близости от него. Поэтому путем искусственного повышения теплопроводности и объемной теплоемкости (замена грунта, его увлажнение и т.д.) незначительного объема грунта вблизи труб грунтового теплообменника можно существенно улучшить эксплуатационные параметры системы теплосбора, эксплуатируемой в малотеплопроводных и не теплоемких грунтах.

Второй период - от 200 до 500 часов (с 8-х до 21-х суток) - характеризуется более плавным изменением интенсивности удельного теплосъема с единицы длины грунтового теплообменника во времени, которое имеет менее крутой, но все же экспоненциальный характер. Причем, наиболее интенсивно изменение удельного теплосъема во времени происходит, как и во время первого периода, в грунтах с малой теплопроводностью. Изменение интенсивности удельного теплосъема в течение периода - в пределах 15% от начального значения.

Третий период начинается с 500 часов (или с 22-х суток) и продолжается до конца отопительного сезона. Для этого периода характерно линейное изменение интенсивности удельного теплосъема во времени. Однако, несмотря на значительно более пологий характер зависимости удельного теплосъема от времени, на протяжении этого периода она все же имеет ярко выраженный нестационарный характер.

Значительное влияние на эффективность эксплуатации систем теплосбора оказывают теплопроводность и теплоемкость грунтового массива. Чем выше теплопроводность и объемная теплоемкость грунта, тем выше интенсивность удельного теплосъема с единицы длины грунтового теплообменника и, соответственно, выше эффективность системы теплоснабжения.

Наиболее существенное влияние на эффективность эксплуатации системы теплоснабжения оказывает изменение теплопроводности грунта в пределах от 0,4-2 Вт/(м·°С) и его объемной теплоемкости от 400-1000 кДж/(м³·°С). Дальнейшее их увеличение сказывается на эффективности системы менее заметно. Следовательно, при эксплуатации систем теплосбора в малотеплопроводных и не теплоемких грунтах имеется реальная возможность за счет незначительного повышения влажности грунта (путем создания дренажа, задержки дождевой влаги на участке теплосбора и т.д.) значительно повысить эффективность эксплуатации системы теплосбора и, соответственно, системы теплоснабжения в целом.

Согласно действующим нормативным документам (например, СП 60.13330.2012 "Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха") применение новых технологий теплоснабжения, в том числе с применением тепловых насосов, связанных, как правило, со значительными капитальными вложениями, требует предварительного технико-экономического обоснования.

На стадии разработки ТЭО для объектов с теплонасосными системами теплоснабжения должны быть проработаны следующие вопросы:

- определены основные архитектурно-планировочные решения;
- определены расчетные тепловые, холодильные и электрические нагрузки объекта с учетом всех внутренних бытовых и технологических тепловыделений;
- рассмотрены возможные мероприятия по снижению энергетических нагрузок традиционными способами;
- определена структура потребления энергии (тепловой и электрической);
- определены суточные и годовые графики потребления тепловой и электрической энергии;
- проработана схема традиционного (централизованного или автономного) теплоснабжения и определены затраты на ее создание (с учетом выполнения требований выставленных технических условий);
- определен энергетический потенциал вторичных энергетических ресурсов объекта (мощность и график их поступления);
- определен энергетический потенциал доступных нетрадиционных возобновляемых источников энергии и потребная мощность для покрытия тепловых нагрузок здания;
- выбрана принципиальная схема системы энергоснабжения с помощью тепловых насосов и выполнена предварительная проектная проработка;
- рассчитаны капитальные затраты, связанные с созданием ТСТ, с учетом технических условий на подключение к внешним энергетическим источникам;
- рассчитаны годовые эксплуатационные затраты по традиционному варианту теплоснабжения и варианту с тепловыми насосами;
- рассчитан срок окупаемости ТСТ.

В случае если срок окупаемости приемлем и к реализации принят вариант ТСТ, следующие этапы проектирования выполняются в соответствии с существующими нормами с обязательным расчетным обоснованием выбора структуры и технических характеристик применяемого оборудования.

4. Достоинства и недостатки тепловых насосов

Основные достоинства теплового насоса:

1. *Экономичность.* Тепловой насос использует введенную в него энергию эффективнее любых котлов, сжигающих топливо. Величина КПД у него много больше единицы. Между собой тепловые насосы сравнивают по особой величине - коэффициенту преобразования тепла (Кпт), среди других его названий встречаются коэффициенты трансформации тепла, мощности, преобразования температур. Он показывает отношение получаемого тепла к затраченной энергии. К примеру, $K_{пт} = 3,5$ означает, что, подведя к машине 1 кВт, на выходе мы получим 3,5 кВт тепловой мощности, то есть 2,5 кВт природа предлагает нам безвозмездно.

2. *Повсеместность применения.* Источник рассеянного тепла можно обнаружить в любом уголке планеты, земля и воздух найдутся и на самом заброшенном участке.

3. *Экологичность.* Агрегат не сжигает топливо, значит, не образуются вредные окислы типа CO, CO₂, NO_x, SO₂, PbO₂, поэтому вокруг дома на почве нет следов серной, азотистой, фосфорной кислот и бензольных соединений. Применяемые в тепловых насосах фреоны не содержат хлоруглеродов и не разрушают озоновый слой.

4. *Универсальность.* Ещё одним преимуществом тепловых насосов является возможность переключения с режима отопления зимой на режим кондиционирования летом: просто вместо радиаторов к внешнему коллектору подключаются фэн-койлы или системы «холодный потолок»

5. *Безопасность.* Эти агрегаты практически взрыво- и пожаробезопасны. Нет топлива, нет открытого огня, опасных газов или смесей. Ни одна деталь не нагревается до температур, способных вызвать воспламенение горючих материалов. Остановки агрегата не приводят к его поломкам или замерзанию жидкостей. В сущности, тепловой насос опасен не более, чем холодильник.

К недостаткам геотермальных тепловых насосов, используемых для отопления, следует отнести большую стоимость установленного оборудования, необходимость сложного и дорогого монтажа внешних подземных или подводных теплообменных контуров. Недостатком воздушных тепловых насосов является более низкий коэффициент преобразования тепла, связанный с низкой температурой кипения хладагента во внешнем «воздушном» испарителе. Общим недостатком тепловых насосов является сравнительно низкая температура нагреваемой воды, в большинстве не более +50°C ÷ +60°C градусов. [9]

4.1. Анализ стоимости получения тепловой энергии и целесообразности применения тепловых насосов.

Основное отличие теплового насоса от других генераторов тепловой энергии, например, электрических, газовых и дизельных генераторов тепла заключается в том, что при производстве тепла до 80% энергии извлекается из окружающей среды.

Приведем сравнительный расчет энергозатрат систем отопления с применением тепловых насосов, дизельного, электрического и газового котлов [10]:

Таблица 1. Сравнительный расчет энергозатрат систем отопления.

№	наименование	тепловой насос	дизельный котел	электро-котел	газовый котел
1	мощность кв/час	10,00	18,00	10,00	18,00
2	расход электроэнергии кв\час	2,2	0,2	10,00	0,2
3	продолжительность работы оборудования в год/час	3000	3000	3000	3000
4	расход электроэнергии в год	6600	600	30000	600
5	расход дизельного /газ топлива л/год		4500		5000
6	стоимость 1 кв/ч электроэнергии, руб	3,1	3,1	3,1	3,1
7	стоимость 1 литра диз топлива, руб		25		
8	стоимость 1 куб газа				3,7
9	энергозатраты на отопление в год /руб	20460	112500	93000	18500

По приведенным выше цифрам мы видим, что затраты на теплоснабжение дома с помощью теплонасосных установок не намного выше затрат на теплоснабжение с использованием газового топлива. И важным фактором в оценке экономической эффективности также является возможность холодоснабжения дома в теплый период года.

Наиболее экономически и энергетически эффективными являются комбинированные системы тепло- и холодоснабжения тепловых насосов с солнечными коллекторами.

По сравнению с солнечными коллекторами геотермальные тепловые насосы обладают рядом преимуществ:

- обеспечивают отопление на 100%;
- дают возможность кондиционирования здания;
- не требуют обязательного сброса поступающей тепловой энергии в случае неиспользования;
- не зависят от погоды.

Но с другой стороны солнечные коллекторы по сравнению с

геотермальными тепловыми насосами тоже имеют преимущества:

- используют минимум электроэнергии для своей работы или могут работать автономно;
- в солнечную погоду показывают эффективность, недостижимую для теплового насоса;
- дают максимум энергии в феврале - апреле, когда грунт промерзает и эффективность грунтовых тепловых насосов снижается.

В оптимальной системе отопления можно просто объединить тепловой насос с солнечными коллекторами и тем самым использовать преимущества обеих систем. Тепловой насос, частично используя электроэнергию, будет обеспечивать отопление, кондиционирование, а также обеспечит сброс излишней тепловой энергии от солнечных коллекторов летом, запасая тепло в грунте для восстановления баланса и последующего использования тепла зимой для отопления. Солнечные коллекторы будут давать бесплатную горячую воду и помогать отоплению, через буферный бак повышая эффективность работы теплового насоса.

Для более полной оценки эффективности, затрат, безопасности и удобства эксплуатации приведем следующую таблицу [11]:

Таблица 2. Сравнение различных вариантов системы теплоснабжения.

	Электроотопление	Газовая котельная	Котельная на природном топливе	ТН типа «вода — вода»
Капитальные затраты	низкие	большие	большие	большие
Стоимость эксплуатации	низкая	средняя	высокая	низкая
Энергоэффективность	крайне низкая	высокая	средняя	высокая
Цена тепла	высокая	низкая	средняя	низкая
Требуются ли согласования	нет	да	да	да
Требуется ли экпл. персонал	нет	да	да	нет
Вред экологии	средний	средний	высокий	средний
Пожарная опасность	средняя	высокая	высокая	низкая
Уровень комфорта	низкий	высокий	средний	высокий
Работа на охлаждение	нет	нет	нет	да

5. Применение тепловых насосов в системах теплоснабжения на примере теплоснабжения жилого дома в Нижегородской области

На современном уровне развития систем теплоснабжения актуальным является применение энергосберегающих технологий. Несмотря на увеличение доли использования возобновляемых источников энергии, основным видом топлива для источников теплоты остается ископаемое углеводородное топливо. В такой ситуации при современном росте потребления тепловой энергии экологическая обстановка в мире будет значительно ухудшаться.

Одним из альтернативных источников тепла может служить теплонасосная установка. Источником низкопотенциального тепла в теплонасосной установке могут быть атмосферный воздух, грунт, грунтовые воды, вода естественных водоемов, сбросное тепло промышленных предприятий и коммунальных служб.

Рассмотрим автономную систему теплоснабжения с применением геотермального теплового насоса на примере жилого дома в Нижегородской области.

Расход тепловой энергии на систему отопления жилого дома площадью 250 м² (из расчета тепловых потерь с учетом инфильтрации) при расчетной температуре наружного воздуха -31⁰С составляет 20 кВт. На приготовление горячей воды требуется 2 кВт тепловой энергии.

Для отопления здания и приготовления горячей воды выбран тепловой насос мощностью 17 кВт из существующего технического ряда оборудования фирмы «Mammoth» (США).

Мощность традиционного источника теплоты (газового, дизельного котла и т.п) обычно выбирают так, чтобы она соответствовала тепловым потерям дома или выше. Но, в связи с тем, что капиталовложения в тепловой насос большей мощности высоки, к установке принят агрегат с низшей мощностью. Это сделано с тем учетом, что в холодный период года температура воздуха редко снижается до расчетной, и, таким образом, теплового насоса мощностью около 70% от всех теплотерь дома достаточно, чтобы покрыть до 95% потребности теплоты за целый год. А для погашения пиковых нагрузок запроектирована установка электрического котла мощностью 9кВт.

Отбор теплоты тепловым насосом осуществляется от грунта с помощью вертикального замкнутого контура, расположенного на прилегающем к дому участке.

Внешний (первичный) контур состоит из U-образных трубок, расположенных вертикально в пробуренных скважинах. Трубки заполняются незамерзающей жидкостью («антифризом») – 35% раствором этиленгликоля с температурой замерзания -20⁰С. Глубина скважин и длина контура зависит от объема обогреваемой площади и состава грунта. При удельном теплосъеме

контура 60 Вт/м и требуемой мощности 17 кВт длина контура должна составлять 285 м. Для обеспечения требуемой тепловой нагрузки во внешнем контуре запроектировано 10 скважин, глубиной по 30 м. В каждую скважину размещается U-образная труба. Расстояние между скважинами 5 м. Таким образом, первичным контуром теплового насоса являются 10 грунтовых петель, выполненных из полиэтиленовой водопроводной трубы Ду32. Они объединены коллектором, расположенном в специальной приемке снаружи дома на глубине 2 м, ниже глубины промерзания грунта. Температура этиленгликоля в первичном контуре на входе в петлю составляет от +1⁰С до +3⁰С и на выходе из неё от +4⁰С до +6⁰С.

Тепловой насос имеет два вторичных контура: контур системы отопления и контур системы горячего водоснабжения (Рис. 5.1).

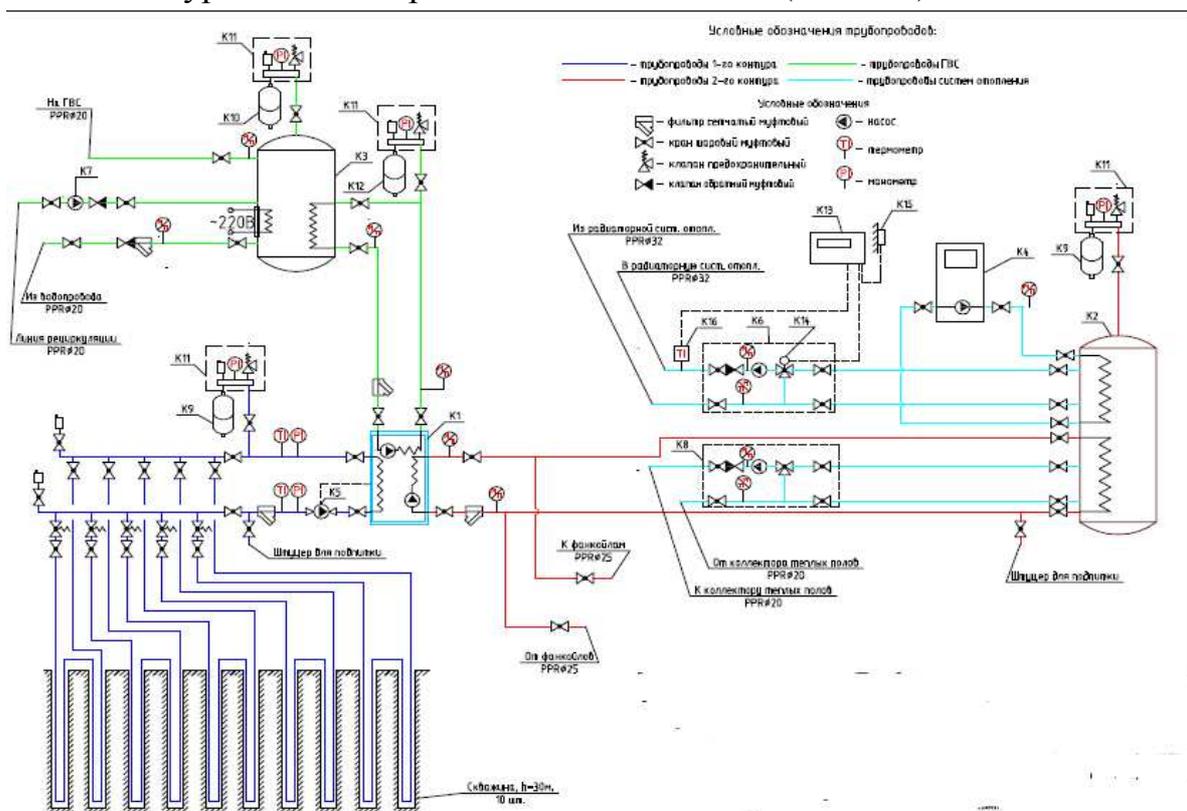


Рис. 5.1. Принципиальная схема работы теплонасосной установки

Контур ГВС подключён к тепловому насосу через бак-аккумулятор объемом 300 л. Установка аккумуляторного бака позволяет накапливать тепловую энергию и сглаживать неравномерность потребления воды на ГВС. Контур системы отопления подключён через буферную ёмкость объемом 300 л. Для покрытия пиковых нагрузок бак-аккумулятор системы ГВС комплектуется электронагревателем, а к буферной ёмкости системы отопления подключен электрический котел.

Основными составляющими теплового насоса являются испаритель, компрессор, конденсатор, дроссельное устройство и теплообменник для приготовления воды на нужды ГВС. Все эти устройства связаны замкнутым стальным трубопроводом, по которому циркулирует хладагент (фреон R 410A). Этиленгликоль, проходя по первичному контуру, нагревается на 3-4⁰С и поступает в испаритель. Испаритель представляет собой теплообменник, в котором происходит процесс передачи теплоты от этиленгликоля хладагенту. Температура этиленгликоля на входе в испаритель зависит от температуры грунта и составляет для данного грунта и данной климатической зоны в среднем за время отопительного периода +4..+5⁰С. Хладагент с температурой -4⁰С, проходя через испаритель, вскипает и переходит из жидкого состояния в газообразное. Этот процесс проходит при давлении 6 бар. Из испарителя газообразный хладагент попадает в компрессор, где он сжимается до высокого давления 30 бар и его температура резко повышается до 60⁰С.

Далее нагретый хладагент в газообразном состоянии поступает в первый теплообменник для приготовления горячей воды на нужды ГВС. В нём происходит подогрев холодной воды до требуемых значений, при этом фреон охлаждается, частично конденсируется и представляет собой газожидкостную смесь с температурой около +55⁰С.

Затем фреон поступает во второй теплообменник, в котором происходит теплообмен между горячим хладагентом и теплоносителем контура системы отопления. Хладагент отдает свою теплоту, охлаждается и снова переходит в жидкое состояние, а нагретый теплоноситель системы отопления поступает в буферную ёмкость и распределяется по системам отопления здания. После второго теплообменника хладагент проходит через редукционный клапан, где его давление понижается. Следовательно, понижается его температура до значений, при которых возможен отбор теплоты от низкопотенциального источника – грунта. Хладагент возвращается в испаритель, нагревается и цикл повторяется снова.

Система отопления данного жилого дома представляет собой смешанную систему радиаторного отопления и системы «теплый пол». При такой схеме происходит более эффективный обогрев помещений, чем при использовании только радиаторного отопления, так как температура воды в системе отопления составляет +50⁰С. Система отопления «теплый пол» служит доводчиком теплоты в дополнение к радиаторной системе отопления.

Запроектированная теплонасосная установка служит не только для теплоснабжения здания, но также используется для кондиционирования внутреннего воздуха здания в теплый период года.

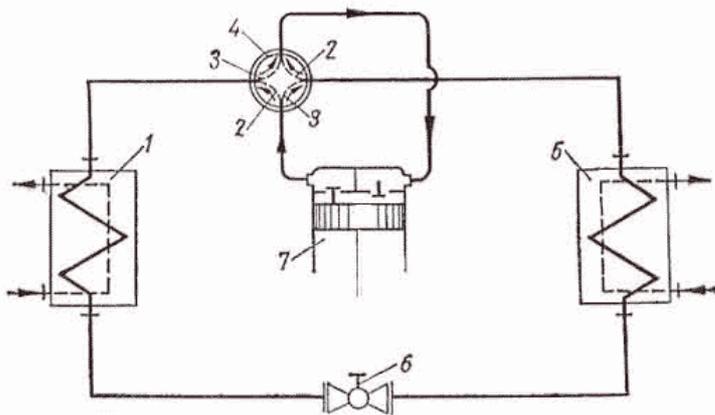


Рис 5.2 Перевод теплового насоса в режим холодоснабжения: 1 - наружный теплообменник; 2 - направление движения хладагента при охлаждении помещения; 3 - направление движения хладагента при отоплении помещения; 4 - четырехходовой кран-переключатель; 5 - внутренний теплообменник; 6 - регулирующий вентиль; 7 - компрессор.

Для перевода работы теплового насоса в режим холодоснабжения четырехходовой клапан компрессора переключается из одного крайнего положения в другое (Рис.5.2), в результате чего поток фреона меняет направление. При этом компрессор и дроссель продолжают работать в том же режиме, что и при отоплении здания. После смены направления движения процесс испарения в теплообменнике испарителя меняется на конденсацию, а процесс конденсации в теплообменнике конденсатора меняется на испарение. Таким образом, вода, циркулирующая в контуре холодоснабжения, охлаждается и поступает на кондиционирование воздуха, а нагретый фреон отдаёт теплоту этиленгликолю, циркулирующему в первичном контуре. Этиленгликоль «сбрасывает» теплоту в грунт, происходит рассеивание тепловой энергии в грунте и подготовка его к отопительному периоду.

В данном здании тепловой насос обеспечивает отопление здания в холодный период, приготовление воды на нужды ГВС и кондиционирование внутреннего воздуха в теплый период года. Теплонасосная установка выполняет все функции теплоснабжения и холодоснабжения, не используя при этом невозобновляемых источников энергии и не нанося вреда окружающей среде. Широкое применение тепловых насосов для систем теплоснабжения зданий и сооружений может помочь решить ряд вопросов, связанных с энергосбережением – сокращением использования невозобновляемых ископаемых углеводородных топлив и улучшением экологии окружающей среды.

Заключение

Тепловые насосы представляют собой естественный природный

источник тепловой энергии, который имеет как экономические, так и экологические преимущества по сравнению с традиционными системами, использующими только углеродосодержащее топливо.

В ходе данной научно-исследовательской работы были рассмотрены и изучены основные типы теплонасосных установок и источники низкопотенциальной энергии, а также конструкция и принцип действия теплового насоса, определены основные положения для проектирования систем теплоснабжения с использованием тепловых насосов, проведен сравнительный анализ экономической целесообразности, эффективности работы, безопасности эксплуатации при использовании различных генераторов тепловой энергии.

Также были сделаны следующие выводы:

- использование тепловых насосов для систем отопления связано с значительным увеличением начальных капитальных затрат по сравнению с обычными системами, использующими традиционные отопительные теплогенераторы. Однако в течение короткого периода эксплуатации этих систем суммарные затраты на владение снижаются примерно в 3-5 раз и продолжают дальнейшее снижение с течением времени;

- использование тепловых насосов взамен сжигания традиционных энергоносителей позволяет существенно уменьшить эмиссию углекислого газа, угарного газа и окислов азота в окружающую атмосферу;

- в качестве среды в цикле теплового насоса могут быть использованы воздух, вода или земля. Выбор этой среды делается на основе технико-экономического расчёта и возможности полноценного использования данной среды;

- наиболее экономически эффективными следует считать тепловые насосы, в которых источником энергии служит грунт, который на определённой глубине имеет практически почти постоянную температуру в течение всего года;

- затраты на теплоснабжение дома с помощью теплонасосных установок не намного выше затрат на теплоснабжение с использованием газового топлива. И важным фактором в оценке экономической эффективности также является возможность холодоснабжения дома в тёплый период года.

Список использованных источников

1. СП 60.13330.2012"Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха";

2. МГСН 2.01-99 "Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению";
3. СП 41-101-95 Свод правил "Проектирование тепловых пунктов";
4. Быков А.В., Калнинь И.М., Крузе А.С. Холодильные машины и тепловые насосы. -М.: Агропромиздат, 1988;
5. Васильев Г.П., Хрустачев Л.В. «Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии»: ОАО "ИНСОЛАР-ИНВЕСТ";
6. Мартыновский В.С. «Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов.» М.: Энергия, 1979.
7. Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процесса охлаждения: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоиздат, 1981. - 320 с.
8. <http://vikertherm.ru/>
9. <http://ru.wikipedia.org/>
10. <http://www.santexnn.ru/>
11. Журнал «ЮНИДО в России», №4, 2013.