

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

институт

Теплотехники и гидрогазодинамики

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В. А. Кулагин

инициалы, фамилия

« ____ » _____ 2024 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

код – наименование направления

Разработка мероприятий по снижению затрат на теплоснабжение

тема

индивидуального жилого дома

Руководитель _____

подпись, дата

доцент, к.т.н _____

должность, ученая степень

С.П. Сибиряков

инициалы, фамилия

Выпускник _____

подпись, дата

И.В. Макаренко

инициалы, фамилия

Красноярск 2024

РЕФЕРАТ

Данная выпускная квалифицированная работа по теме «Разработка мероприятий по снижению издержек по теплоснабжению индивидуального жилого дома» содержит информационный объем в виде:

- 87 страниц текстового документа
- 30 таблиц
- 36 иллюстрации
- 5 графиков

Ключевые слова: Тепловые насосы, отопление, геотермальная станция, автономная фотоэлектрическая станция, солнечные панели, электроснабжение.

Объектом исследования является – целесообразность и возможность использования теплонасосной установки в качестве источника отопления, и солнечных панелей при выработки электроэнергии для частного жилого дома в условиях Крайнего Севера Красноярского края, п. Тура.

Цели исследования:

- исследование теоретических аспектов по теплонасосным и фотоэлектрическим установкам.
- анализ географического расположения исследуемого объекта и климатических условий присущих данному региону.
- расчет теплопотерь ограждающих конструкций.
- подбор отопительного оборудования.
- определение геометрических характеристик теплообменника для внешнего контура теплового насоса.
- расчет и подбор дополнительного оборудования для системы отопления и горячего водоснабжения.
- анализ возможной выработки мощности солнечных панелей.
- расчет и подбор оборудования для автономной фотоэлектрической станции.

- определение суточного потребления электроэнергии и возможности её покрытия солнечными панелями.
- производство технико-экономического обоснования проекта.

В результате исследования проектируемого объекта был произведен расчет основных теплопотерь частного дома площадью 123 м² в п. Тура, Красноярского края. Представлена схема системы отопления, а именно расположения на ней отопительных приборов. Посчитана система горячего водоснабжения. Так же произведен расчет солнечного электроснабжения дома, результатом которого стало полное или частичное покрытие нужд в электроэнергии, а также её продажи в случае избытка. Произведен подбор всего необходимого оборудования, требуемого для надежного функционирования все энергосистемы объекта. Составлен технико-экономический расчет, в результате которого был определен срок окупаемости всего оборудования в сравнении с использованием угольного котла при покрытии тепловой нагрузки, и использовании покупной электроэнергии.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. Теоретические аспекты использования теплового насоса	9
1.1 Принцип работы теплового насоса	9
1.2 Виды тепловых насосов	11
1.2.1 Тепловые насосы «воздух-воздух»	13
1.2.2 Тепловые насосы «вода-вода»	15
1.2.3. Тепловые насосы «вода-воздух»	16
1.2.4. Тепловые насосы «грунт-вода»	18
1.3. Влияние среды на эффективность работы теплового насоса	19
1.3.1. Температура окружающей среды.....	19
1.3.2. Влажность воздуха.....	20
1.3.3. Избыточное давление	21
1.3.4. Состав среды	22
1.4. Принцип работы солнечных панелей	23
2. Расчёт системы отопления	27
2.1 Описание объекта исследования	27
2.2 Расчёт теплотерь ограждающих конструкций.....	28
2.2.1 Расчёт ГСОП.....	28
2.2.2 Расчёт теплозащитных характеристик наружных стен	29
2.2.3 Расчёт теплозащитных характеристик перекрытия	30
2.2.4 Расчёт теплозащитных характеристик пола	32
2.2.5 Расчет теплозащитных свойств оконных проемов.....	34
2.2.6 Расчет теплозащитных свойств дверных проемов	34
2.2.7 Термические сопротивления ограждающих конструкций	35
2.2.8 Трансмиссионные потери теплоты через ограждающие конструкции	35
2.3 Расчет теплоты на нагрев воздуха, поступающего в результате действия инfiltrации	37
2.4 Теплопоступления от солнечной радиации через световые проемы	41
2.5 Бытовые теплопоступления	42
2.6 Тепловой баланс помещений.....	43
2.7 Подбор отопительного оборудования.	43
2.7.1 Подбор конвекторов и радиаторов.....	43

2.7.2 Гидравлический расчет. Подбор насоса	48
3. Расчёт и подбор теплового насоса	49
3.1 Выбор теплового насоса.....	49
3.2 Расчёт грунтового коллектора	51
3.3 Расчёт теплоносителя	54
3.4 Тепловая мощность здания	57
3.5 Выбор дополнительного оборудования.....	58
3.5.1 Выбор бака аккумулятора	59
3.5.2 Выбор резервного источника отопления.....	61
3.5.3 Расчет бойлера косвенного нагрева для ГВС	61
4. Расчет солнечных панелей	64
4.1 Расчет прямой и рассеянной солнечной инсоляции.....	64
4.2 Расчет количества энергии, вырабатываемой солнечными панелями	67
5. Выбор оборудования для солнечного электроснабжения.....	70
5.1 Определение емкости аккумуляторных батарей	70
5.2 Выбор инвертора для солнечных панелей	72
5.3 Выбор контролера заряда для солнечных панелей	73
5.3 Выбор автоматического ввода резерва	75
6. Расчет потребляемой энергии электрооборудованием.....	76
6.1 Продажа электроэнергии.....	79
7. Экономическое обоснование	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	85
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	86

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время возникают все более острые вопросы об обеспечении энергией, о том как эту энергию получить, ввиду с истощением традиционных источников. Наиболее эффективным способом выхода из этого положения становится использование альтернативных источников энергии. Своей главной отличительной чертой, которая заключается в их экологичности и неисчерпаемости, они привлекают к себе все больший интерес. Так комбинированная энергетическая система в виде теплового насоса и солнечных панелей, идеально подходит для решения этих вопросов. Работа первого, которого основана на термодинамическом цикле, который состоит из компрессии, конденсации, расширения и испарении. Второго, на преобразовании солнечной энергии в электрическую с помощью фотоэлемента.

Тепловой насос применяет тепловую энергию окружающей среды для обогрева, охлаждения и горячего водоснабжения (далее ГВС) помещений, что значительно сокращает энергозатраты на отопление и кондиционирование воздуха. В то же время солнечные панели могут использоваться для генерации электроэнергии, которые могут служить автономным источником электроснабжения дома.

Такая комбинация позволит улучшить энергоэффективность системы, снизить зависимость от традиционных источников энергии и сократить вредные выбросы в атмосферу. Это приведет к уменьшению эксплуатационных расходов и заметному сокращению негативного влияния на окружающую среду, что важно с учетом изменения климата и стремления к устойчивому развитию.

Главное преимущество теплового насоса для теплоснабжения является сокращение расходов в топливе, которое затрачивается для производства той же тепловой энергии в традиционных котлах. К преимуществу солнечных панелей можно отнести, генерацию электроэнергии на покрытие собственных нужд в использовании электроприборов.

Говоря о недостатках, использование теплого насоса несет большие денежные затраты на его установку на начальном этапе, условия климата конкретного региона влияют на способ размещения внешнего теплообменника, эффективность которого зависит от должного перепада температур.

На эффективность солнечной генерации электроэнергии так же очень сильно влияют климатические условия, такие как количество световых дней в году, температура окружающего воздуха и др.

Целью данной ВКР является разработка мероприятий по снижению издержек по теплоснабжению индивидуального жилого дома на 5 человек, расположенного в поселке Тура, Красноярского Края.

Объектом исследования является система теплоснабжения с использованием теплого насоса и солнечных фотоэлектрических панелей в частном доме на 5 человек.

Предмет исследования: целесообразность использования теплого насоса солнечных фотоэлектрических панелей в условиях Красноярского края.

Для достижения поставленной цели были выполнены следующие задачи:

- изучение теоретических основ по тепловым насосам и солнечным фотоэлектрическим панелям
- анализ климатических и географических данных проектируемого объекта
- нахождение теплотерь здания
- расчёт длины теплообменника для внешнего контура теплого насоса
- расчёт геометрических характеристик и производительности солнечной панели.
- расчёт и подбор необходимого оборудования
- экономические расчёты, определение технико-экономических показателей проекта

– вывод о проделанной работе

Результаты данной работы могут быть использованы при разработке систем отопления, ГВС и электроснабжения индивидуального жилого строительства с использованием теплового насоса и солнечных панелей в поселке Тура, Красноярского края.

1. Теоретические аспекты использования теплового насоса

1.1 Принцип работы теплового насоса

Тепловые насосы функционируют благодаря способности перемещать тепло от более нагретой среды к менее нагретой, повышая её температуру. Этот процесс сродни работе холодильника: он выводит тепло наружу, охлаждая внутреннее пространство. Однако, в отличие от холодильника, тепловой насос извлекает тепло из окружающей среды вне помещения и применяет его для обогрева. Любое тело, имеющее температуру выше абсолютного нуля, содержит тепловую энергию, которую может транспортировать тепловой насос. Абсолютный ноль официально равен $-273,15$ градусов Цельсия, что указывает на практически неограниченные запасы тепла на практике.

Основные узлы теплового насоса:

Испаритель: здесь рабочее вещество испаряется, поглощая тепло окружающей среды (например, воздуха, почвы или воды).

Компрессор: после испарения рабочее вещество поступает в компрессор, где происходит повышение давления и температуры.

Конденсатор: нагретое рабочее вещество из компрессора поступает в конденсатор, где конденсируется и передает тепло в систему отопления или для нагрева воды.

Дроссельный клапан: после конденсатора рабочее вещество проходит через дроссельный клапан, что приводит к резкому снижению давления и температуры перед возвращением в испаритель.

Таким образом, тепловой насос извлекает тепло из окружающей среды (например, воздуха, земли или воды) и передает его внутрь помещений для их обогрева или нагрева воды.

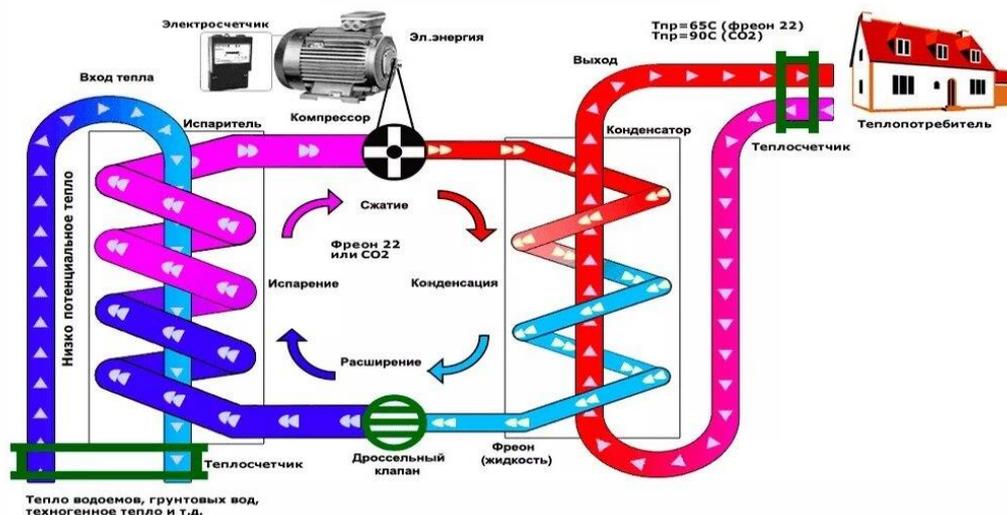


Рисунок 1.1 – Принцип работы теплового насоса

Эффективность использования тепловых насосов в экономическом плане зависит от множества факторов, включая региональную стоимость электроэнергии, себестоимость тепловой энергии, произведённой различными видами топлива, а также температуру низкопотенциального источника.

Переход на тепловые насосы вместо традиционных систем отопления приносит финансовые преимущества, так как исключаются затраты на закупку, транспортировку и хранение топлива. Это позволяет высвободить финансовые ресурсы, обычно задействованные в этих процессах. Дополнительно установка тепловых насосов освобождает значительные площади, которые ранее требовались для котельной, подъездных путей и складов топлива.

Однако монтаж тепловых насосов включает определенные затраты и ограничения, зависящие от типа системы. Например, чтобы установить грунтовой тепловой насос, требуется идеально подготовленная площадка, тогда как для воздушного насоса необходима достаточно обширная свободная зона около здания для размещения наружного блока. Несмотря на свои многочисленные преимущества, установка теплового насоса связана с определёнными расходами и требованиями к доступному пространству.

Тем не менее, эксплуатационные затраты на тепловые насосы быстро окупаются за счёт снижения потребления энергии. Важно отметить, что для

работы теплового насоса не нужны дополнительные коммуникации, за исключением подключения к электросети.

Процесс установки включает проведение электромонтажных работ, прокладку воздухопроводов и размещение наружного теплообменника. Конечная стоимость этих мероприятий определяется индивидуальными потребностями и тарифами, предлагаемых установочной компанией.

На рынке представлен широкий выбор тепловых насосов, работающих на разных источниках энергии, таких как воздух, грунт и вода. Каждый тип насоса обладает своими особенностями, поэтому для выбора наилучшего варианта важно учитывать специфические условия эксплуатации.

1.2 Виды тепловых насосов

Разнообразие видов теплонасосов определяется различием в применяемых технологиях для сбора и распределения энергии, а также в методах использования оборудования, различают следующие виды тепловых насосов:

Тепловые насосы «воздух-вода» используют тепло воздуха для обогрева помещений и обеспечения горячей водой.

Тепловые насосы «вода-вода»: извлекают тепло из водных ресурсов, которое поступает в сеть отопления и ГВС.

В свою очередь, теплонасосы типа «воздух-воздух» извлекают и передают тепло из воздуха в помещение в виде воздушного отопления.

«грунт-вода» - теплоизвлекающая система, использующая тепло грунтовых ресурсов для отопления помещений.

Тепловые насосы бывают двух типов по виду передачи энергии: компрессионные и не компрессионные. Компрессионные насосы основаны на использовании компрессора, конденсатора, расширителя и испарителя для цикла сжатия и расширения теплоносителя. Этот вид насосов прост в использовании, эффективен и широко распространен.

Абсорбционные тепловые насосы основаны на принципе абсорбции пара с более низкой температурой абсорбентом, который одновременно выделяет тепло. Рабочим веществом в таких насосах является пар абсорбент-хладон. Повышение эффективности работы теплового насоса достигается за счет применения абсорбента.

По типу источника тепла тепловые насосы можно разделить следующим образом:

Воздушные: Забор тепла осуществляется из окружающего воздуха.

Геотермальные: Тепловая энергия добывается из земли или водоемов.

Использующие вторичное тепло: В таких насосах используют тепло, содержащееся в воздухе, воде или сточных водах. Этот тип наиболее целесообразен для промышленных объектов, где требуется утилизация ненужного тепла.

Основное различие между типами тепловых насосов заключается в типе теплоносителя для входного и выходного контуров.

<p style="text-align: center;">Грунт</p> <ul style="list-style-type: none"> ❶ Не требуется бурение ❷ Почва имеет стабильную температуру ❸ Низкие затраты на установку 	<p>Тепловой насос собирает тепло грунта с помощью коллектора, уложенного на глубину около метра.</p>	
<p style="text-align: center;">Скважина</p> <ul style="list-style-type: none"> ❶ Нет необходимости в большом участке ❷ Скважина имеет стабильную температуру на протяжении всего года ❸ Не влияет на участок 	<p>При использовании в качестве источника тепла скважины, в нее опускается коллектор, имеющий U-образную форму. Не обязательно использовать одну очень глубокую скважину, можно пробурить несколько неглубоких, более дешевых скважин, главное получить общую расчетную глубину.</p>	
<p style="text-align: center;">Водоём</p> <ul style="list-style-type: none"> ❶ Нет необходимости в большом участке ❷ Водоём имеет стабильную температуру ❸ Не влияет на участок 	<p>Используется коллектор, уложенный на дно водоёма чтобы собирать солнечное тепло, накопленное за лето. Принцип тот же, что и в случае с грунтовым коллектором.</p>	
<p style="text-align: center;">Воздух</p> <ul style="list-style-type: none"> ❶ Низкие затраты на установку ❷ Не влияет на участок 	<p>Использование воздушного теплового насоса освобождает от необходимости бурить или копать. Вместо этого вы получаете тепло из окружающего воздуха с помощью внешнего блока. Все ключевые компоненты находятся внутри здания, что предотвращает их от повреждения.</p>	

Рисунок 1.2 – Основные принципы размещения теплообменника

1.2.1 Тепловые насосы «воздух-воздух»

Работа тепловых насосов типа «воздух-воздух» основана на использовании цикла хладагента для передачи тепла из окружающего воздуха в отапливаемое помещение. Установленные за пределами здания, они извлекают тепло из воздуха с помощью специального испарителя, где рабочее вещество испаряется и поглощает тепло из окружающей среды. Таким образом, цикл теплового насоса позволяет переносить тепло из холодного воздуха на улице в теплое помещение.

Внутри помещения происходит процесс передачи тепла через конденсатор, когда рабочее вещество испаряется и передает тепло. После этого

происходит конденсация, при которой рабочее вещество возвращается в жидкое состояние и отдаёт тепло. Жидкое рабочее вещество затем направляется обратно в испаритель для повторения цикла извлечения и передачи тепла. Для этого используются компрессор, который увеличивает давление и температуру газа, и расширитель, который снижает давление перед возвращением в испаритель.

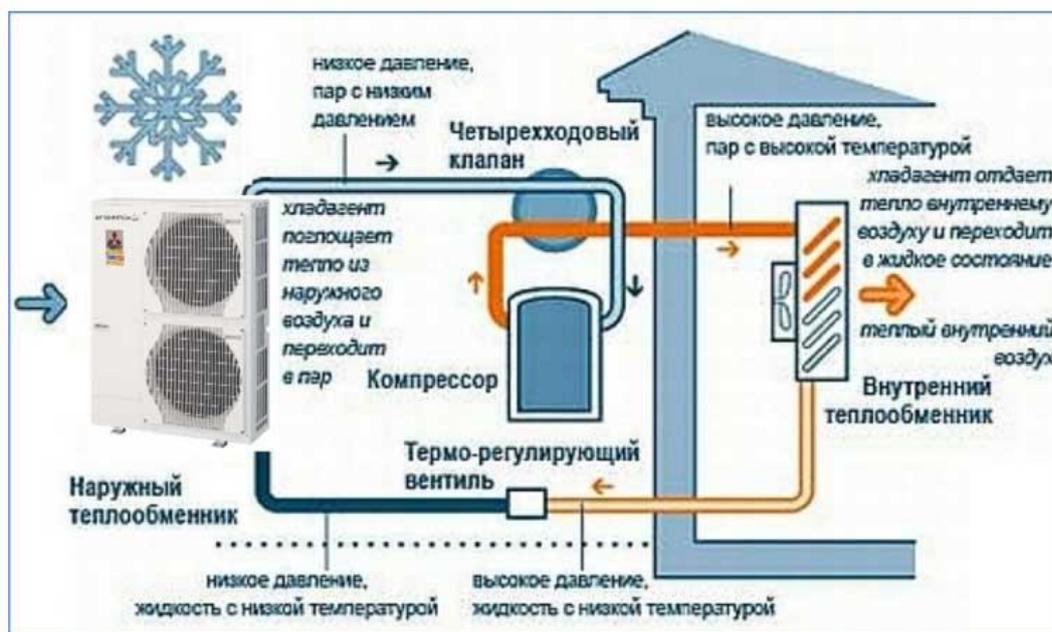


Рисунок 1.3 – Схема работы теплового насоса «воздух-воздух»

Перед установкой тепловых насосов «воздух-воздух» необходимо провести детальный анализ их достоинств и недостатков, чтобы принять обоснованное решение. Эти насосы не требуют сложной инсталляции и не нуждаются в дополнительных трубопроводах, что делает процесс установки и обслуживания более простым и доступным. Безопасные и экологически чистые, они не используют вредные газы или опасные вещества, что делает их использование безопасным для окружающей среды.

Подогрев помещений с использованием систем «воздух-воздух» является отличным выбором, особенно в умеренных климатических условиях. Однако, следует учитывать некоторые недостатки этих систем. Например, они неспособны работать при крайней холодности, когда температура воздуха падает ниже определенного уровня. Кроме того, эффективность таких систем

может ухудшаться в помещениях с плохой циркуляцией воздуха или с большим количеством людей. Поэтому, при выборе теплового насоса «воздух-воздух», необходимо учитывать размер помещения, которое будет подогреваться.

Если помещение большое, то, чтобы его обеспечить необходимым количеством воздуха, потребуется более мощный насос. В случае маленького помещения, наоборот, нет необходимости в такой мощности, так как это будет неэффективно с экономической точки зрения. Важно также знать, что насосы могут иметь разные режимы работы, которые включают возможность охлаждения помещения в летний период. Это особенно полезно в тех регионах, где климат жаркий. При выборе насоса также стоит обратить внимание на его энергоэффективность и экономическую выгоду. Хотя установка таких систем может быть дорогой, они позволяют значительно сэкономить энергию в будущем.

1.2.2 Тепловые насосы «вода-вода»

Тепловые насосы типа «вода-вода» работают на основе использования грунтовых вод как источника тепла для обогрева помещений и подачи горячей воды. Вместо воздуха, грунтовая вода выступает как основной источник тепла, что отличает эту систему от тепловых насосов «воздух-вода». Для установки теплового насоса «вода-вода» необходим доступ к грунтовым водам, которые постоянно поддерживают оптимальную температуру в течение всего года. Это делает систему эффективнее в сравнении с тепловыми насосами «воздух-вода», так как грунтовые воды обеспечивают стабильное источник тепла для отопления и горячей воды.

Выбор между установкой теплового насоса «вода-вода» и системы «воздух-вода» зависит от сложности и стоимости. Установка «вода-вода» требует специализированного оборудования для доступа к грунтовым водам и укладки трубопроводов. Тем не менее, тепловые насосы «вода-вода» могут быть эффективными и экономичными для отопления и горячего водоснабжения. Перед установкой необходимо тщательно оценить все плюсы и

минусы, чтобы выбрать наиболее подходящую систему под свои нужды. Важно также обратить внимание на надежность и долговечность выбранного теплового насоса. Некоторые модели могут быть более дорогими, но иметь более длительный срок службы и меньшие затраты на ремонт и обслуживание.

Для обеспечения желаемого уровня тепла в холодных регионах рекомендуется установка более мощного и эффективного теплового насоса «вода-вода». Важно учитывать климатические особенности местности, где будет использоваться данный насос, чтобы обеспечить оптимальную работу системы.

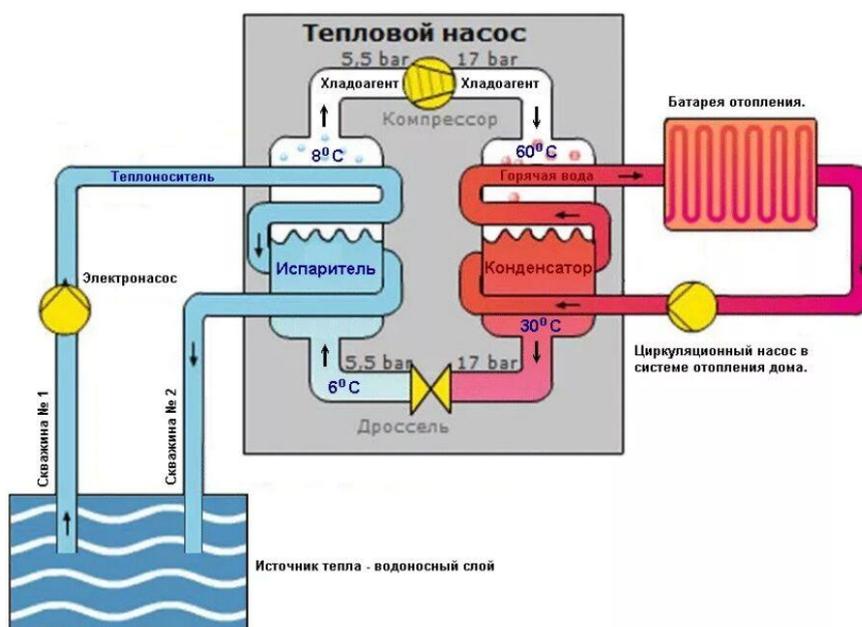


Рисунок 1.4 – Схема работы теплового насоса «вода-вода».

1.2.3. Тепловые насосы «вода-воздух»

Экологически чистый тепловой насос «вода-воздух» предоставляет экономичное решение для обогрева и получения горячей воды в доме. Для извлечения тепла насос использует скважины или зонды, а затем распределяет его по помещению с помощью воздушной системы. При выборе теплового насоса типа «вода-воздух» необходимо уделить особое внимание его мощности и энергоэффективности. Также важно учитывать климатические особенности региона, чтобы найти наиболее подходящую модель.

Перед тем, как приступить к установке теплового насоса типа «вода-воздух», следует провести тщательный анализ потребностей системы отопления и горячего водоснабжения. Важно обратиться к экспертам для выбора оптимального варианта, который подойдет именно для вашего дома. Установка и правильное размещение теплового насоса – это ключ к эффективной и экономичной работе систем отопления и горячего водоснабжения в вашем жилище. Тепловые насосы типа «вода-воздух» могут быть установлены как внутри, так и снаружи зданий, будь то старые здания или новые строительные проекты.

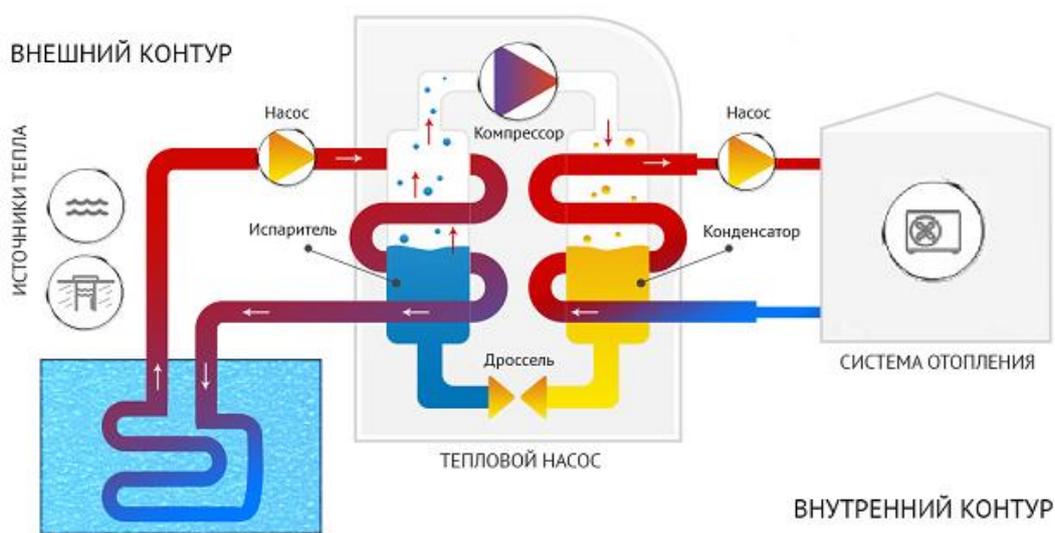


Рисунок 1.5 – Схема работы теплового насоса «вода-воздух»

Эффективность тепловых насосов «вода-воздух» проявляется в их способности работать при экстремально низких температурах до -20 градусов Цельсия, обеспечивая 4 кВт тепла на каждый потребляемый кВт электроэнергии. Экологическая безопасность – одно из главных преимуществ этих насосов, так как они абсолютно свободны от вредных газов и материалов. Использование их помогает значительно сократить расходы на отопление и горячее водоснабжение. Для поддержания надлежащего функционирования системы отопления и горячего водоснабжения в жилом помещении необходимо регулярно проводить техническое обслуживание и проверку тепловых насосов.

Системы, которые хорошо подходят для обоих типов зданий, обладают высокой экологической чистотой и экономической эффективностью. Для обеспечения безопасности и эффективности работы системы, необходимо проводить ежегодные проверки.

1.2.4. Тепловые насосы «грунт-вода»

Тепловые насосы типа «грунт-вода» эффективно извлекают тепло из почвы, что делает их более продуктивными по сравнению с аналогами. Для их функционирования требуется закладывать трубопроводы на глубину от полутора до двух метров, что влечет за собой определенные расходы на подготовку территории.

Однако эта система эффективна только в регионах с температурой грунта выше нуля градусов Цельсия. В случае холодного климата возникает потребность в использовании дополнительного оборудования для стабилизации.

При планировании и установке тепловой системы на грунтовых водах необходимо учитывать возможные негативные воздействия на окружающую среду, такие как изменение гидрологического режима и загрязнение воды. Регулярное обслуживание и чистка системы важны для ее эффективной работы и длительного срока службы.

Наибольшую эффективность в работе тепловые насосы «грунт-вода» достигают при мягких климатических условиях и подходят для потребителей с большими потребностями в тепле и горячей воде. Перед выбором системы необходимо провести анализ потребностей и условий объекта, а также оценить бюджет на установку и эксплуатацию.

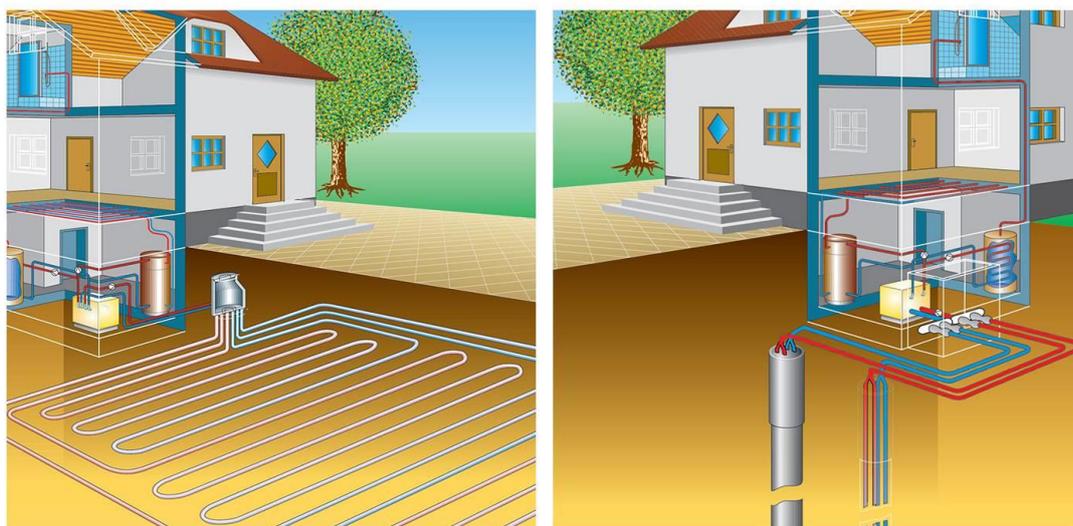


Рисунок 1.6 – Принцип размещения теплообменника «грунт-вода»

1.3. Влияние среды на эффективность работы теплового насоса

Среда, в которой работает тепловой насос, оказывает значительное влияние на его эффективность. При выборе среды необходимо учитывать такие факторы, как температура, влажность, избыточное давление и состав среды.

1.3.1. Температура окружающей среды

Температура окружающей среды является одним из основных факторов, влияющих на работу и производительность теплового насоса. Чем выше температура, тем выше количество теплоты, которое может добываться из окружающей среды, следовательно это приводит к повышению эффективности работы данного устройства. При этом, чем выше температура, тем меньше энергии необходимо для работы теплового насоса.

Тем не менее, при пониженных температурах, особенно когда они опускаются ниже отметки в $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, эффективность работы теплового насоса может значительно уменьшиться, поскольку извлечение тепла из внешней среды становится более сложным. При этом, применение стандартного типа теплового насоса, который не адаптирован для работы в условиях низких температур, может привести к ухудшению его рабочих характеристик и к общему уменьшению эффективности системы отопления и ГВС.

1.3.2. Влажность воздуха

Влажность воздуха играет значительную роль в работе теплового насоса. Повышенное содержание влаги может ухудшить функционирование системы по нескольким причинам.

Прежде всего, высокая влажность увеличивает количество водяных паров в атмосфере, что затрудняет передачу тепла. При наличии избытка влаги системе будет сложнее извлекать тепло из окружающей среды, что приведет к ухудшению эффективности работы теплового насоса. Кроме того, излишек водяных паров может способствовать коррозии металлических деталей, что сократит срок службы отопительной системы.

Во-вторых, повышенная влажность может способствовать развитию плесени и грибков в помещении, что отрицательно сказывается на здоровье людей и затрудняет обогрев квартиры или дома. Плесень и грибки могут проникать в отопительную систему и нарушать ее работу.

Кроме того, различные виды тепловых насосов могут реагировать по-разному на уровень влажности воздуха. Например, воздушные тепловые насосы обычно более чувствительны к влажности, чем грунтовые или водные. При установке тепловой системы в влажных помещениях, таких как старые здания, может потребоваться регулярное обслуживание системы для защиты от влаги и увеличения срока ее эксплуатации.

Важно следить за уровнем влажности в помещении, которая может меняться в разное время года и зависеть от климатических условий, если необходимо, установить соответствующие системы осушения воздуха. Это поможет уменьшить негативное воздействие влажности на работу теплового насоса и продлить его срок службы. Для защиты тепловых насосов от повышенной влажности существует несколько способов. Например, можно применить антикоррозионное покрытие на внутренних деталях системы отопления и насоса, чтобы уменьшить риск коррозии.

Также можно использовать специальные фильтры, которые очищают воздух от водяных частиц и других загрязнений, повышая эффективность работы системы.

Так, уровень влажности в воздухе является ключевым элементом, который требует внимания при использовании тепловых насосов для достижения наивысшей производительности и продления жизни отопительной системы. Оптимально спроектированное отопление, учитывающее идеальные значения влажности и оснащенное надлежащей защитой от влаги, позволяет существенно сократить расходы на энергию.

1.3.3. Избыточное давление

Избыточное давление в системе может возникнуть по различным причинам. Например, это может быть вызвано неправильной настройкой клапанов или слишком мощной насосной установкой. Чрезмерное давление способно повредить элементы системы, а также увеличить риск возгорания и взрыва.

Излишнее давление может привести к утечкам газа, что представляет серьезную опасность для безопасности. Утечки могут возникнуть в местах, где давление превышает допустимые пределы. Кроме того, при слишком высоком давлении постоянно происходит износ и негативное воздействие на трубопроводы, клапаны и другие элементы системы, что сокращает их срок службы.

Для поддержания оптимальной работы системы необходимо периодически проводить ее техническое обслуживание и следить за уровнем давления. При превышении допустимого уровня давления необходимо немедленно принять меры по его снижению, например, путем регулировки клапанов или замены насоса. Постоянный контроль и своевременное обслуживание помогут предотвратить возможные поломки и повреждения системы, обеспечивая ее эффективную работу.

Необходимо учитывать, что избыточное давление в системе может негативно сказываться на ее работе. Низкое давление приведет к замедлению циркуляции теплоносителя, что уменьшит эффективность работы теплового насоса и увеличит расход энергии. С другой стороны, слишком высокое давление может повысить производительность системы, но также может вызвать повреждения компонентов.

Для обеспечения оптимального давления в системе необходимо учитывать требования безопасности и надежности работы, а также стремиться к максимальной эффективности работы теплового насоса. Для этого важно определить оптимальные параметры давления и регулярно их контролировать.

Излишнее давление в системе может привести к серьезным проблемам, таким как повреждение компонентов, утечка газа и повышенный риск возгорания или взрыва. Поэтому необходимо регулярно проверять давление, проводить обслуживание и настройку системы, с учетом оптимальной эффективности работы теплового насоса.

1.3.4. Состав среды

Состав рабочей среды – важный фактор, оказывающий значительное влияние на эффективность системы с тепловым насосом. Она может включать различные компоненты, такие как воздух, вода, антифризы, масла и другие смазочные вещества.

Присутствие мелких частиц и загрязнений в воздухе может привести к засорению вентиляционных отверстий и снижению производительности системы. Это может привести к поломке теплового насоса и повреждению других компонентов.

Состав воды также может негативно сказаться на работе системы. Наличие минералов и железа может вызвать образование накипи в трубах и других компонентах, что снижает эффективность и может привести к поломке.

Кроме того, состав рабочей среды может способствовать коррозии и деградации компонентов системы. Некоторые материалы могут быть

несовместимы с использованными антифризами и маслами, что приведет к их ухудшению и снижению производительности.

Для обеспечения оптимальной работы системы необходимо правильно выбирать состав рабочей среды и регулярно проводить ее очистку от загрязнений. Также важно следить за качеством воздуха и воды в установленном месте.

Итак, состав рабочей среды – ключевой фактор для обеспечения эффективной работы системы с тепловым насосом. Профессиональный подход к выбору состава и регулярное обслуживание помогут сохранить ее производительность на долгие годы.

1.4. Принцип работы солнечных панелей

Солнечная энергия представляет собой один из наиболее перспективных путей развития возобновляемой энергетики. Современные технологические достижения сделали солнечные панели доступными для широкого применения, включая энергообеспечение частных домов, даже в регионах с ограниченным количеством солнечных дней.

Основные элементы солнечных панелей включают:

1. Фотоэлектрические модули, также называемые солнечными батареями, являются ключевым компонентом любой солнечной энергетической системы, преобразуя солнечное излучение в электрическую энергию.

2. Контроллер заряда играет важную роль в управлении энергопотоками между солнечными батареями и аккумуляторами, обеспечивая безопасную и эффективную зарядку, предотвращая перегрузки и перегрев аккумуляторов.

3. Аккумуляторы предназначены для накопления электроэнергии, выработанной солнечными панелями, с целью её последующего использования в отсутствие солнечного света.

4. Инвертор преобразует постоянное напряжение, хранящееся в аккумуляторных батареях, в стандартное переменное напряжение 220 В и частоту 50 Гц, которое питает бытовые электроприборы.

Принцип действия солнечных панелей основан на взаимодействии солнечных лучей с материалом панелей, результатом чего является передача энергии от фотонов к электронам, что вызывает генерацию постоянного электрического тока. Этот процесс, известный как фотоэлектрический эффект, был открыт ещё в XIX веке. Реализация этого эффекта осуществляется с помощью фотоэлектрических преобразователей, или фотоэлементов, которые работают на базе полупроводниковых материалов.

Полупроводники представляют собой материалы, обладающие как избытком, так и недостатком электронов. В полупроводниковой структуре обычно различают два слоя с отличающейся электропроводностью: катод, обогащенный электронами, и анод, испытывающий их дефицит. На сегодняшний день в производстве солнечных панелей преимущественно применяют кремниевые пластины, отличающиеся оптимальными свойствами для этих целей.



Рисунок 1.7 - Схема работы технологии и устройство полупроводника

Кремниевые пластины стали основным материалом при изготовлении солнечных панелей, поскольку они демонстрируют подходящие параметры для полупроводников и способны эффективно преобразовывать солнечную энергию в электрическую.

Однако эффективность работы солнечных панелей находится в зависимости от географического расположения, погодных условий и времени

суток. Также, значительную роль играет высокая стоимость оборудования и его установки.

Несмотря на указанные обстоятельства, солнечная энергетика продолжает активно развиваться и совершенствоваться, что делает её все более привлекательным вариантом для использования в различных условиях и регионах.

Каждая солнечная панель содержит кристаллические кремниевые ячейки, которые также известны как солнечные элементы. Номинальная мощность солнечной панели зависит от количества этих солнечных элементов.



Рисунок 1.8 – Изображение солнечного элемента

Для повышения эффективности солнечные, что позволяет достичь суммарной выходной мощности. Существует 3 способа подключения солнечных панелей:

1. Параллельное подключение. В этом случае номинальное напряжение подключенных 4 солнечных панелей останется на прежнем уровне, но ток увеличится в 4 раза.

2. Последовательное подключение. Здесь, наоборот, номинальное напряжение увеличивается в 4 раза, но ток остается на уровне, соответствующем 1 панели.

3. Параллельно-последовательное подключение. При параллельном подключении 2 комплектов последовательно соединенных солнечных панелей номинальное напряжение и ток увеличиваются в 2 раза.

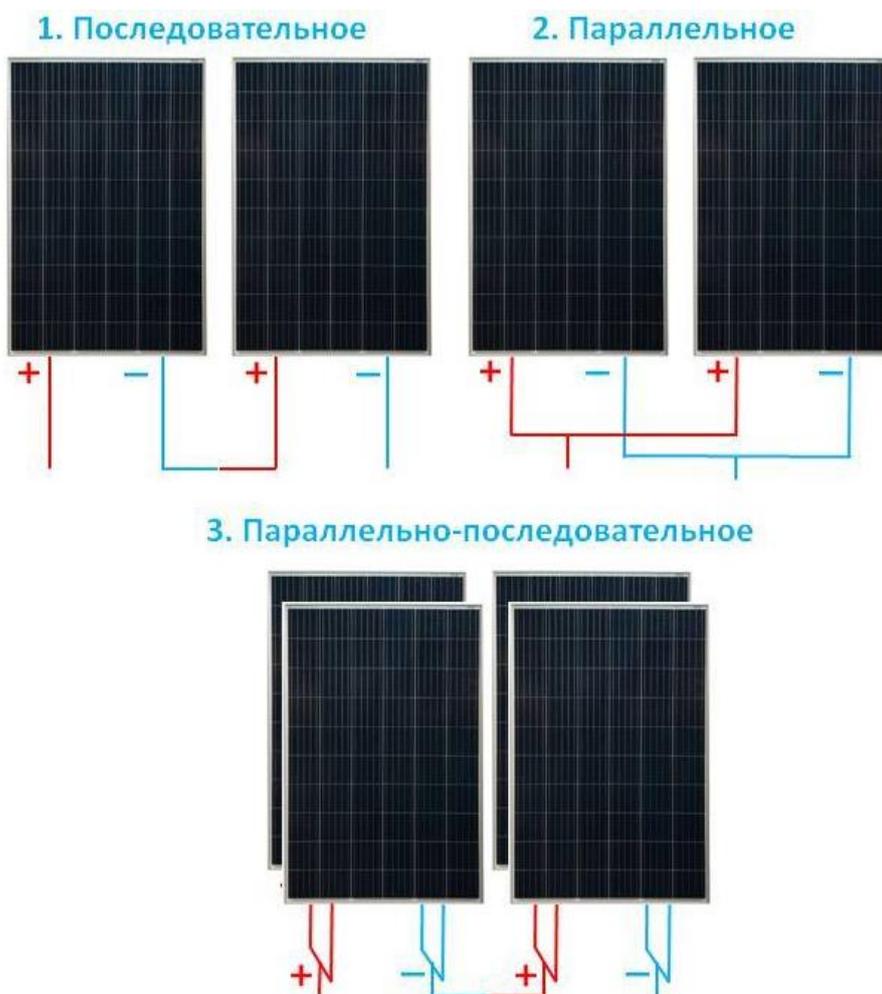


Рисунок 1.9 – способы подключения солнечных панелей

2. Расчёт системы отопления

2.1 Описание объекта исследования

Объектом данного проектирования является частный жилой дом на 5 человек, расположенный в поселке Тура, Красноярского края ($64^{\circ}17'00''$ с.ш. $100^{\circ}13'00''$ в.д.).

Тура – это посёлок городского типа, административный центр Эвенкийского района Красноярского края. Посёлок расположен на берегу реки Нижняя Тунгуска, в месте впадения в неё реки Кочечум. Расстояние от Туры до Красноярска – около 1200 километров.

Климат Туры континентальный субарктический. Это значит, что здесь наблюдаются большие колебания температур в течение года. Холодная зима сменяется жарким летом.

Средняя температура воздуха периода со средней суточной температурой воздуха $\leq 8^{\circ}\text{C}$ – -17°C . Средняя температура января, самого холодного месяца, составляет около $-35,9^{\circ}\text{C}$, а июля, самого тёплого месяца, около $+17^{\circ}\text{C}$. Отсюда широкое распространение вечной мерзлоты зимой обусловлено низкими температурами.

В посёлке довольно короткое лето и продолжительная зима. Весна и осень, как правило, тоже короткие, глубина промерзания грунта в Туре-Эвенкийском АО в глинах и суглинках: 2.75 м. [3]

Частный дом площадью 111 м^2 имеет 1 этаж, террасу. Ниже представлен внешний вид здания.



Рисунок 2.1 – Главный фасад здания



Рисунок 2.2 – Задний фасад здания

2.2 Расчёт теплопотерь ограждающих конструкций

2.2.1 Расчёт ГСОП

Климатические параметры холодного периода года для п. Туры берутся согласно СП 131.13330.2020 «Строительная климатология».

Минимальное значение сопротивления через ограждающие конструкции определяется через градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) по следующей формуле [5]:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}}, \quad (2.1)$$

где $t_{\text{от}}, t_{\text{в}}$ – средняя температура наружного и внутреннего воздуха соответственно °С;

$z_{\text{от}}$ - продолжительность, сут/год, отопительного периода для жилого здания.

$$\text{ГСОП} = (20 - (-17)) \cdot 270 = 9990 \text{ (}^\circ\text{С} \cdot \text{сут)}.$$

2.2.2 Расчёт теплозащитных характеристик наружных стен

Жилой дом имеет следующую конфигурацию наружных стен:

- клееный брус $\delta_1 = 0,2$ м
- гипсокартон ГКЛ 12,5 Кнауф $\delta_2 = 0,0125$ м
- Экструзионный пенополистирол (XPS) $\delta_y = x$ м (данный параметр вычисляется ниже)

Поскольку значение ГСОП отличается от приведенных в таблице, то термическое сопротивление $R, \frac{\text{м}^2\text{°С}}{\text{Вт}}$ находим по следующей формуле [5]:

$$R_{\text{req}} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (2.2)$$

где a, b – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы 3 из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [5].

Принимает следующие значения для жилых зданий: $a=0,00035$; $b=1,4$.

$$R_{\text{req}} = 0,00035 \cdot 9990 + 1,4 = 4,896 \left(\frac{\text{м}^2\text{°С}}{\text{Вт}} \right).$$

Термическое сопротивление можно представить в следующем виде [5]:

$$R_{\text{req}} = \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}}, \quad (2.3)$$

где $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения для

условий холодного периода (23 Вт/м²°C);

$\alpha_{вн}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, 8,7 Вт/(м²°C)

δ_i – толщина стенки, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности стенки, Вт/м·К.

Для удобства расчета сведем все данные в таблицу:

Таблица 1.1 - Строительные материалы стен

Номер Слоя	Материал	Толщина, м	Теплопроводности, Вт/м °C
1	Клееный брус	0,2	0,1
2	Гипсокартон ГКЛ 12,5 Кнауф	0,0125	0,22
3	Экструзионный пенополистирол (XPS)	δ_y	0,03

$$R_{req} = \frac{1}{\alpha_{н}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_y}{\lambda_y} + \frac{1}{\alpha_{вн}}, \quad (2.4)$$

$$R_{req} = \frac{1}{23} + \frac{0,21}{0,1} + \frac{0,0125}{0,22} + \frac{\delta_y}{0,03} + \frac{1}{8,7} = 4,896 \left(\frac{\text{м}^2\text{°C}}{\text{Вт}} \right).$$

Откуда получаем $\delta_y = 0,077$ м.

Принимаем ближайшую к этому значению толщину теплоизоляционных плит по сортаменту, толщина используемого утеплителя составит 0,08 м.

По формуле (1.3) находим фактическое термическое сопротивление теплопередаче наружной стены:

$$R_{req} = \frac{1}{23} + \frac{0,21}{0,1} + \frac{0,0125}{0,22} + \frac{0,08}{0,03} + \frac{1}{8,7} = 4,982 \left(\frac{\text{м}^2\text{°C}}{\text{Вт}} \right),$$

Коэффициент теплопередачи определяем по следующей формуле:

$$k = \frac{1}{R} = \frac{1}{4,982} = 0,301 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}} \right).$$

2.2.3 Расчёт теплозащитных характеристик перекрытия

Бесчердачное перекрытие здание состоит из следующих слоев:

- металлочерепица $\delta_1 = 0,008$ м

- обрешетка из дерева $\delta_2 = 0,032$ м
- контробрешетка $\delta_3 = 0,05$ м
- подшивной брус $\delta_4 = 0,03$ м
- подшивка $\delta_5 = 0,012$ м
- слой пароизоляции «Изоспан В» $\delta_6 = 0,006$ м
- слой гидроизоляции «Изоспан АS» $\delta_7 = 0,002$ м
- стропила $\delta_8 = 0,20$ м
- пенополистирол Мосстрой-31 ППС-10 $\delta_y = x$ м

По градусо-суткам отопительного периода определяем значение сопротивления теплопередачи перекрытия [5]:

- $a = 0,0005$;
- $b = 2,2$;

Рассчитаем требуемое сопротивление:

$$R_{req} = 0,0005 \cdot 9990 + 2,2 = 7,195 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} \right),$$

Термическое сопротивление записываем в следующем виде:

$$R_{req} = \frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{\delta_6}{\lambda_6} + \frac{\delta_7}{\lambda_7} + \frac{\delta_y}{\lambda_y} + \frac{1}{\alpha_{вн}}, \quad (2.5)$$

где α_n – коэффициент теплоотдачи внешней поверхности ограждения для условий холодного периода (23 Вт/м²°C);

$\alpha_{вн}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м²·°C)

δ_i – толщина стенки, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности стенки, Вт/м·°C.

Для удобства расчета сведем все данные в таблицу:

Таблица 1.2 - Строительные материалы кровли

Номер слоя	Материал	Теплопроводность, Вт/м ² °C	Толщина, м
1	Металлочерепица	Не учитывается	0,008
2	Обрешетка из дерева	0,23	0,032
3	Контробрешетка	0,23	0,05
4	Подшивной брус	0,1	0,03
5	подшивка	0,18	0,012

Продолжение таблицы 1.2

6	Слой пароизоляции «Изоспан В»	0,17	0,006
7	Слой гидроизоляции «Изоспан АS»	0,22	0,002
8	Стропила	0,23	0,20
9	Пенополистирол Мосстрой-31 ППС-10	0,032	δ_y

$$R_{req} = \frac{1}{23} + \frac{0,032}{23} + \frac{0,05}{23} + \frac{0,03}{0,1} + \frac{0,012}{0,18} + \frac{0,006}{0,17} + \frac{0,002}{0,22} + \frac{0,20}{0,23} + \frac{\delta_y}{0,032} + \frac{1}{8,7}, \quad (2.6)$$

Из уравнения находим $\delta_y = 0,186$ м.

Принимаем ближайшую к этому значению толщину теплоизоляционных плит по сортаменту, толщина используемого утеплителя составит 0,19 м.

Фактическое значение термического сопротивления:

$$R_{req} = \frac{1}{23} + \frac{0,032}{23} + \frac{0,05}{23} + \frac{0,03}{0,1} + \frac{0,012}{0,18} + \frac{0,006}{0,17} + \frac{0,002}{0,22} + \frac{0,20}{0,23} + \frac{0,19}{0,032} + \frac{1}{8,7} = 7,38 \left(\frac{\text{м}^2\text{°C}}{\text{Вт}} \right),$$

Найдем коэффициент теплопередачи через перекрытие:

$$k = \frac{1}{R_{req}} = \frac{1}{7,38} = 0,235 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}} \right).$$

2.2.4 Расчёт теплозащитных характеристик пола

Пол здания состоит из следующих слоев:

- монолитная плита $\delta_1 = 0,4$ м
- засыпка керамзитом $\delta_2 = 0,5$ м
- экструзионный пенополистирол (XPS) $\delta_3 = x$ м
- стяжка из цементно-песчаного раствора $\delta_4 = 0,02$ м
- подстилающий слой бетона $\delta_5 = 0,01$ м
- керамическая плита $\delta_6 = 0,001$ м

По градусо-суткам отопительного периода определяем значение сопротивления теплопередачи перекрытия:

- $a = 0,00043$;
- $b = 1,9$;

Рассчитаем требуемое сопротивление:

$$R_{req} = 0,00043 \cdot 9990 + 1,9 = 6,196 \left(\frac{\text{м}^2\text{°C}}{\text{Вт}} \right),$$

Термическое сопротивление записываем в следующем виде:

$$R_{req} = \frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{\delta_6}{\lambda_6} + \frac{\delta_7}{\lambda_7} + \frac{\delta_y}{\lambda_y} + \frac{1}{\alpha_{вн}}, \quad (2.5)$$

где α_n – коэффициент теплоотдачи внешней поверхности ограждения для условий холодного периода (23 Вт/м²°C);

$\alpha_{вн}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м·°C)

δ_i – толщина стенки, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности стенки, Вт/м·°C.

Для удобства расчета сведем все данные в таблицу:

Таблица 1.3 - Строительные материалы пола

Слой	Название	Теплопроводность, Вт/м ² °C	Толщина, м
1	Монолитная плита	2,04	0,4
2	Засыпка керамзитом	0,14	0,5
3	экструзионный пенополистирол (XPS)	0,03	δ_y
4	Стяжка из цементно-песчаного раствора	0,95	0,02
5	Подстилающий слой бетона	0,52	0,1
6	Керамическая плита	1,45	0,005

$$R_{req} = \frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{\delta_6}{\lambda_6} + \frac{1}{\alpha_{вн}}, \quad (2.7)$$

$$R_{req} = \frac{1}{23} + \frac{0,4}{2,04} + \frac{0,5}{0,14} + \frac{\delta_y}{0,03} + \frac{0,02}{0,95} + \frac{0,1}{0,52} + \frac{0,005}{1,45} + \frac{1}{8,7} = 6,196 \left(\frac{\text{м}^2\text{°C}}{\text{Вт}} \right),$$

Из уравнения находим $\delta_y = 0,061$ м.

Принимаем ближайшую к этому значению толщину теплоизоляционных плит по сортаменту ТУ 5767-006-54349294-2014, толщина используемого утеплителя составит 0,06 м.

Фактическое значение термического сопротивления:

$$R_{req} = \frac{1}{23} + \frac{0,4}{2,04} + \frac{0,5}{0,14} + \frac{0,06}{0,03} + \frac{0,02}{0,95} + \frac{0,1}{0,52} + \frac{0,005}{1,45} + \frac{1}{8,7} = 6,143 \left(\frac{\text{м}^2\text{°C}}{\text{Вт}} \right)$$

Найдем коэффициент теплопередачи через пол:

$$k = \frac{1}{R_{req}} = \frac{1}{6,143} = 0,263 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}} \right).$$

2.2.5 Расчет теплозащитных свойств оконных проемов

В данном проекте используются пластиковые окна ПВХ REHAU Grazio двухкамерные стеклопакеты.

По градусо-суткам отопительного периода определяем значение сопротивления теплопередачи перекрытия:

$$- a = 0,00005;$$

$$- b = 0,2;$$

Рассчитаем требуемое сопротивление:

$$R_{req} = 0,00005 \cdot 9990 + 0,2 = 0,699 \left(\frac{\text{м}^2\text{°C}}{\text{Вт}} \right),$$

Найдем коэффициент теплопередачи через оконные проемы:

$$k = \frac{1}{R_{req}} = \frac{1}{0,699} = 1,598 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}} \right),$$

2.2.6 Расчет теплозащитных свойств дверных проемов

Рассчитаем требуемое термическое сопротивление дверных проемов [5]:

$$R_{req} = \frac{n \cdot (t_b - t_p)}{\Delta t_n \cdot a_{вн}}, \quad (2.8)$$

где t_p – средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 (-53 °C);

Δt_n – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции °C, принимается по таблице 5 [5].

Тогда, термическое сопротивление:

$$R_0 = \frac{1 \cdot (20 - (-53))}{4 \cdot 8,7} = 2,09 \left(\frac{\text{м}^2\text{°C}}{\text{Вт}} \right),$$

Фактическое сопротивление для внешних дверей быть не менее произведения $0,6R_0$, где R_0 - приведенное сопротивление:

$$R_{req} = 0,6 \cdot R_0 = 0,6 \cdot 2,09 = 1,254 \left(\frac{\text{м}^2\text{°C}}{\text{Вт}} \right),$$

Коэффициент теплопередачи через дверные проемы определяется по формуле:

$$k = \frac{1}{R_{req}} = \frac{1}{1,254} = 0,797 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}} \right).$$

2.2.7 Термические сопротивления ограждающих конструкций

Сведем полученные значения термических сопротивлений в таблицу:

Таблица 1.4 - Значения термических сопротивлений и коэффициентов теплопередачи

Ограждение	$R, \frac{\text{м}^2\text{°C}}{\text{Вт}}$	$k, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}}$
Наружная стена	4,982	0,301
Бесчердачное перекрытие	7,38	0,235
Перекрытие над неотапливаемым подвалом	6,143	0,263
Окна	0,699	1,598
Двери	1,254	0,797

2.2.8 Трансмиссионные потери теплоты через ограждающие конструкции

Трансмиссионные потери теплоты (таб. 1.5) через наружные ограждения определяют суммированием теплопотерь через отдельные ограждающие конструкции с точностью по формуле [5]:

$$Q_{тр} = k \cdot F \cdot n \cdot (t_{int} - t_{exp}), \quad (2.9)$$

где k – коэффициент теплопередачи ограждения (величина обратная общему термическому сопротивлению теплопередаче через ограждение, т.е. $k = \frac{1}{R_0} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}} \right]$;

n - коэффициент, принимаемый в зависимости от положения ограждения по отношению к наружному воздуху, для наружных стен и бесчердачных перекрытий по данным таблицы 6 [5], принимаем $n=1$;

t_{int} – расчетная температура внутри помещения, принимаются согласно

санитарным правилам и нормам СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», °С;

t_{exp} – расчетная температура наружного воздуха, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 °С, принимается согласно [3].

В среднем за отопительный период температура воздуха в подвале составляет 8 °С [5].

Таблица 1.5 - Теплотери через ограждающие конструкции

Перекрытие	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	F, м ²	$k, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}}$	Q _{тр} , Вт	Общие потери, Вт
Котельная					
Наружная стена	69	14,78	0,301	306,96	557,61
Бесчердачное перекрытие	69	8,73	0,235	141,55	
Двери	69	0	0,797	0	
Окна	69	0,88	1,598	97,03	
Пол	8	5,73	0,263	12,05	
Спальня 1					
Наружная стена	73	18,56	0,301	513,45	1128,25
Бесчердачное перекрытие	73	19,92	0,235	341,72	
Двери	73	0	0,797	0	
Окна	73	1,96	1,598	228,64	
Пол	12	14,08	0,263	44,43	
Спальня 2					
Наружная стена	73	15,34	0,301	337,06	1291,95
Бесчердачное перекрытие	73	15,04	0,235	258,0112	
Двери	73	0	0,797	0	
Окна	73	5,66	1,598	660,26	
Пол	12	11,6	0,263	36,6	
Спальня 3					
Наружная стена	73	18,59	0,301	563,3	1064,66
Бесчердачное перекрытие	73	14,01	0,235	240,34	
Двери	73	0	0,797	0	
Окна	73	1,96	1,598	228,64	
Пол	12	10,26	0,263	32,38	

Продолжение таблицы 1.5

Перекрытие	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	F, м ²	$k, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}}$	Q _{гран} , Вт	Общие потери, Вт
С/У					
Наружная стена	71	7,14	0,301	231,66	577,13
Бесчердачное перекрытие	71	13,41	0,235	223,74	
Двери	71	0	0,797	0	
Окна	71	0,88	1,598	99,84	
Пол	10	8,32	0,263	21,88	
Холл					
Наружная стена	71	6,59	0,301	243,11	347,45
Бесчердачное перекрытие	71	5,53	0,235	92,26	
Двери	71	0	0,797	0	
Окна	71	0	1,598	0	
Пол	10	4,59	0,263	12,07	
Кухня					
Наружная стена	71	22,27	0,301	653,23	1473,64
Бесчердачное перекрытие	71	19,74	0,235	329,36	
Двери	71	0	0,797	0	
Окна	71	3,92	1,598	444,75	
Пол	10	17,6	0,263	46,288	
Гостинная					
Наружная стена	71	18,91	0,301	544,65	2432,84
Бесчердачное перекрытие	71	41,14	0,235	934,22	
Двери	71	0	0,797	0	
Окна	71	7,62	1,598	864,55	
Пол	10	34	0,263	89,42	
Прихожая					
Наружная стена	71	3,8	0,301	41,74	104,08
Бесчердачное перекрытие	71	6,1	0,235	30,77	
Двери	71	1,845	0,797	18,4	
Окна	71	0	1,598	0	
Пол	10	5,01	0,263	13,17	

Общие теплопотери через ограждающие поверхности составляют 8235,6 Вт.

2.3 Расчет теплоты на нагрев воздуха, поступающего в результате действия инфильтрации

При естественной вытяжной вентиляции в помещениях жилых и

общественных зданий приточный нормируемый расход воздуха может складываться из поступлений в помещения либо в виде суммарного расхода, равного расходам приточного, нагретого в приточных установках, и инфильтрационного воздуха (без предварительного нагревания). В этом случае инфильтрационный поток воздуха является организованным, задаваемым в исходных условиях параметром $L_{\text{н}}$, величина которого формируется в результате дебаланса между задаваемыми вентиляционными вытяжным и приточным воздухообменами. Расход теплоты $Q_{\text{и}}$, Вт, на нагревание этого организованного инфильтрационного потока определяется по формуле [7]:

$$Q_{\text{и}}^{\text{орг}} = 0,28 \cdot L_{\text{н}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), \quad (2.10)$$

где $L_{\text{н}}$ – расход приточного, предварительно не подогреваемого инфильтрующегося воздуха, м³/ч, для жилых зданий приточный воздухообмен нормируется удельным расходом 3 м³/ч на 1 м² площади жилых помещений и кухни ($L_{\text{н}}=3 \cdot S_{\text{пола}}$), что соответствует примерно однократному воздухообмену [7];

c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1,005 кДж/(кг·°С);

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха в помещении, кг/м³, вычисляемая по формуле:

$$\rho_{\text{в}} = \frac{353}{273 + t_{\text{в}}}$$

$t_{\text{в}}, t_{\text{н}}$ – расчетные температуры внутри и снаружи помещения соответственно, °С

При неорганизованной инфильтрации через существующие неплотности и щели в стенах, воротах, окнах, фонарях зданий различного назначения расход теплоты $Q_{\text{и}}$, Вт, определяется по формуле:

$$Q_{\text{и}}^{\text{неорг}} = 0,28 \cdot \sum G_{\text{и}} \cdot c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot k_{\text{т}}, \quad (2.11)$$

где $k_{\text{т}}$ – коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях, равный 0,7 для стыков панелей стен и окон с тройными переплетами;

$G_{\text{и}}$ – количество инфильтрующегося воздуха в здание, кг/ч, которое

выражается по формуле [5]:

$$G_{\text{и}} = \left(\frac{A_{\text{ок}}}{R_{\text{и,ок}}^{\text{ТР}}} \right) \left(\frac{\Delta p_{\text{ок}}}{10} \right)^{2/3} + \left(\frac{A_{\text{дв}}}{R_{\text{и,дв}}^{\text{ТР}}} \right) \left(\frac{\Delta p_{\text{дв}}}{10} \right)^{1/2}, \quad (2.12)$$

где $A_{\text{ок}}, A_{\text{дв}}$ – суммарная площадь окон, балконных дверей и входных наружных дверей (м);

$2/3$ и $1/2$ – показатель режима фильтрации воздухопроницаемой конструкции, принимаемый для окон и светопрозрачных ограждающих конструкций равным $2/3$, для входных дверей во встроенные помещения, входных дверей и ворот в здания или сооружения, а также для проемов – равным $1/2$ [6];

$\Delta p_{\text{ок}}, \Delta p_{\text{дв}}$ – расчетная разность давлений, Па, воздуха на наружную и внутреннюю поверхность ограждений определяется по формуле [6]:

$$\Delta p_n = (H - h_n) * (\rho_n - \rho_v) * g + \frac{\rho_n * v^2}{2} * (c_n - c_n) * k_{z(e)} - P_v, \quad (2.13)$$

где H – высота здания (от уровня пола первого этажа до верха вытяжной шахты), м (принимается 5м);

h – расчетная высота от уровня земли до верха окон, наружных дверей, м, (принимается 2,55м);

v – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16 % и более, м/с, принимается 2 м/с согласно [3].

c_n, c_n – аэродинамические коэффициенты соответственно для наветренной и подветренной поверхностей ограждений здания, принимаемые 0,8 и -0,5 соответственно по СП 20.13330.2016 [8];

$k_{z(e)}$ – коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания, принимаемый 0,75 [8];

P_v – условное давление в помещении, Па, от уровня которого отсчитаны первое и второе слагаемые формулы (2.13).

При отсутствии в помещении организованной вентиляции $P_v, \text{Па}$, определяется по формуле [6]:

$$P_v = \frac{H * (\rho_n - \rho_v) * g}{2} + \frac{\rho_n * v^2}{4} * (c_n - c_3) * k_{z(e)}, \quad (2.14)$$

$R_{и,ок}^{тр}, R_{и,дв}^{тр}$ – фактическое сопротивление воздухопроницанию светопрозрачных конструкций и входных наружных дверей, (м·ч)/кг.

Сопротивление воздухопроницанию светопрозрачных конструкций и входных наружных дверей найдем по следующей формуле:

$$R_{и,i}^{тр} = \frac{1}{G^H} \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_0} \right)^{2/3}, \quad (2.15)$$

Где G^H – нормируемая воздухопроницаемость ограждающей конструкции (кг/(м²·ч)), для дверей - 7, окон - 5 [5];

Δp_0 – разность давлений воздуха с наружной и внутренней сторон светопрозрачных ограждений, 10 Па [6];

Δp – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па;

$$\Delta p = 0,55 H(y_{ext} - y_{int}) + 0,03 y_{ext} \times v^2, \quad (2.16)$$

где H – высота здания (от уровня пола первого этажа до верха вытяжной шахты), м;

y_{ext}, y_{int} – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м³, определяемый по формуле:

$$y = \frac{3463}{273 + t}, \quad (2.17)$$

где t – температура внутреннего воздуха, °С;

Инфильтрационные потери складываются из организованных и неорганизованных:

$$Q_{и} = Q_{и}^{неорг} + Q_{и}^{орг} \quad (2.18)$$

Сведем полученные теплотери в таблицу:

Таблица 1.6 - Инфильтрационные потери

Номер помещения	Номер помещения	$Q_{и}^{неорг}$, Вт	$Q_{и}^{орг}$, Вт	$Q_{и}$, Вт
1	Кухня	163,02	455,46	618,48
2	С/У	14,15	168,04	182,18
3	Спальня1	31,95	290,39	322,34
4	Спальня2	192,27	539,24	731,51
5	Спальня3	31,95	251,60	283,55
6	Гостиная	222,50	686,69	909,19

Продолжение таблицы 1.6

Номер помещения	Номер помещения	$Q_{и}^{неорг}$, Вт	$Q_{и}^{орг}$, Вт	$Q_{и}$, Вт
7	Котельная	13,95	113,25	127,19
8	Прихожая	89,56	101,19	190,74

Общие теплотери через ограждающие поверхности составляют 3365,18 Вт.

2.4 Теплопоступления от солнечной радиации через световые проемы

Определение поступления теплоты через световые проемы за счет солнечной радиации производится по формуле [5]:

$$Q_{рад} = 11,6 \cdot Q_{рад}^{оп}, \quad (2.15)$$

где $Q_{рад}^{оп}$ – суммарные теплопоступления через окна, расположенные на фасадах, ориентированных по направлениям j от солнечной радиации в течение отопительного периода:

$$Q_{рад}^{оп} = \tau_{1ок} \tau_{2ок} (A_{ок1} l_1^{вер} + A_{ок2} l_2^{вер} + A_{ок3} l_3^{вер} + A_{ок4} l_4^{вер}), \quad (2.16)$$

где $I_j^{вер}$ – суммарная солнечная радиация на вертикальную поверхность на широте 64 за январь, МДж/м². Принимается из п.9.1, СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» [3]. Она равна 20, 27, 95 для северной стороны, восточной/западной и южной, соответственно;

A_j – площадь окон, ориентированных по направлению j , м²;

$\tau_{2ок}$ – коэффициенты, учитывающие затенение светового проема соответственно окон и зенитных фонарей непрозрачными элементами заполнения, принимаемые по табл. 3.4 [9]. Для двухкамерных стеклопакетов принимается 0,5;

$\tau_{1ок}$ – коэффициенты относительного проникания солнечной радиации соответственно для светопропускающих заполнений окон и зенитных фонарей, принимаемые по табл. 3.4 [9]. Для двухкамерных стеклопакетов принимается 0,83.

Полученные данные сведем в таблицу:

Таблица 1.7 - Теплопоступления от солнечного излучения

Номер помещения	Название помещения	Q ₀ , МДж/мес	Q ₀ , Вт	Q рад, Вт
1	Кухня	99,23	38,29	244,11
2	С/У	9,86	3,80	55,27
3	Спальня1	16,27	6,28	98,29
4	Спальня2	46,98	18,12	183,83
5	Спальня3	16,27	6,28	98,29
6	Гостиная	245,11	94,56	256,63
7	Котельная	7,30	2,82	44,13

Общие теплопоступления от солнечной радиации составляют 980,55 Вт.

2.5 Бытовые теплопоступления

Удельную характеристику бытовых теплопоступлений жилых зданий, Вт/(м·°С), определяют по формуле [5]:

$$Q_{\text{быт}} = q_{\text{быт}} A_{\text{ж}} \quad (2.17)$$

где $q_{\text{быт}}$ – величина бытовых тепловыделений на 1 м² площади, Вт/ м²; в пересчете на 1 м², нужд освещения (по мощности осветительных приборов 10 Вт/м²) с учетом рабочих часов в неделю.

$A_{\text{ж}}$ – площадь всего здания, м².

Для кухни также учтем несколько бытовые приборы, которые при работе выделяют теплоту.

Сведем все данные в следующую таблицу:

Таблица 1.8 - Теплопоступления от бытовых приборов

Номер помещения	Название помещения	Аж, м ²	Q _{быт} , Вт
1	Кухня	17,6	350,15
2	С/У	8,32	83,2
3	Спальня1	14,08	140,8
4	Спальня2	11,6	116
5	Спальня3	10,26	102,6
6	Гостиная	34	340
7	Котельная	5,73	57,3
8	Прихожая	5,01	50,1
9	Холл	4,59	45,9

Общие теплопоступления от бытовых приборов составляют

1286,15 Вт.

2.6 Тепловой баланс помещений

При определении тепловой мощности отопления жилых и общественных зданий необходимо свести систему к тепловому балансу:

$$Q_{\text{бал}} = Q_{\text{тр}} + Q_{\text{и}} - Q_{\text{рад}} - Q_{\text{быт}} \quad (2.18)$$

Таблица 1.9 - Суммарные теплотери и теплопоступления

Номер помещения	Название помещения	Q _{тр} , Вт	Q _и , Вт	Q _{быт} , Вт	Q _{рад} , Вт	Q _{бал} , Вт
1	Кухня	1473,64	618,48	350,15	244,11	1497,86
2	С/У	577,13	182,18	83,20	55,27	620,84
3	Спальня1	1128,26	322,34	140,80	98,29	1211,51
4	Спальня2	1291,95	731,51	116,00	183,83	1723,63
5	Спальня3	1064,66	283,55	102,60	98,29	1147,32
6	Гостиная	1493,81	909,19	340,00	256,63	1806,37
7	Котельная	557,61	127,19	57,30	44,13	583,37
8	Прихожая	301,10	190,74	50,10	0,00	441,74
9	Холл	347,45	0,00	45,90	0,00	104,55
Суммарная теплота		8235,60	3365,18	1286,05	980,55	9334,18

2.7 Подбор отопительного оборудования.

2.7.1 Подбор конвекторов и радиаторов

Для подбора отопительного оборудования и гидравлического расчета системы отопления воспользуемся программой nanoCAD «Отопление». Она предназначена для проектирования систем отопления зданий и сооружений. В ней представлены расчетная и графическая части раздела проектирования «Отопление». Производится гидравлический и тепловой расчет системы водяного отопления, подбираются диаметры трубопроводов, типоразмеры арматуры и автоматическая балансировка системы [10].

Проектируем однотрубную систему отопления, где теплоноситель будет поступать из одного конвектора в другой через общую трубу. Указываем

температуру воды входящей/выходящей в систему отопления $t = 70/50$ °С и общие теплотери через каждое помещение.

В ходе расчета программа самостоятельно подбирает отопительные приборы и выполняет гидравлический расчет.

Для данного частного дома были выбраны следующие приборы отопления: конвекторы концевые «Универсал ТБ» КСК-20 и радиатор RIFAR MONOLIT. В таблице отображены характеристики выбранных отопительных приборов:

Таблица 1.10 - Характеристика отопительных приборов

Название прибора	Габариты (длина x высота), м	Мощность, Вт
КСК-20-0,479К (К)	742 x 400	479
КСК-20-0,655К (К)	646 x 400	655
КСК-20-0,787К (К)	766 x 833	787
КСК-20-0,918К (К)	1318 x 400	918
КСК-20-1,049К (К)	934 x 400	1049
КСК-20-1,573К (К)	1318 x 400	1573
КСК-20-1,835К (К)	1510 x 400	1835
КСК-20-1,966К (К)	1606 x 400	1966
RIFAR MONOLIT 500	80 x 577	196



Рисунок 2.3 - Конвектор концевой «Универсал ТБ» КСК-20



Рисунок 2.4 - Радиатор RIFAR MONOLIT

Размещение каждого отопительного прибора по помещениям представлено в таблице:

Таблица 1.11 – Размещение обогревательных приборов по комнатам

Номер помещения	Название помещения	Название прибора, м	Количество, шт
1	Кухня	КСК-20-0,787К (К)	2
2	С/У	КСК-20-0,787К (К)	1
3	Спальня1	КСК-20-1,311К (К)	1
4	Спальня2	КСК-20-1,835К (К)	1
5	Спальня3	КСК-20-1,311К (К)	1
6	Гостиная	КСК-20-1,835К (К) КСК-20-1,966К (К)	1;1
7	Котельная	КСК-20-0.655К (К)	1
8	Прихожая	КСК-20-1,049К (К)	1
9	Холл	RIFAR MONOLIT 500	1

Таблица 1.12 – Ведомость теплового расчета отопительных приборов

№ отопительного прибора	Помещение	Тепловая нагрузка прибора Q, Вт	Расход теплоносителя G, кг/ч	Температура на входе твх, °С	Размер, количество секций	Тип прибора
1	Котельная	587,79	323,1	69,3	0,71 м ²	КСК-20-0,655К (К)
2	Холл	80,08	323,1	67,2	1 шт.	RIFAR MONOLIT

Продолжение таблицы 1.12

3	Спальня 1	1240,56	323,1	65,6	1 м ²	КСК-20-1,311К (К)
4	Спальня 2	1798,82	323,1	62,4	1,38 м ²	КСК-20-1,835К (К)
5	Спальня 3	1167,1	323,1	59	0,89 м ²	КСК-20-1,311К (К)
6	С/У	701,2	323,1	57,9	0,81 м ²	КСК-20-0,787К (К)
7	Кухня	713,26	323,1	56,1	0,81 м ²	КСК-20-0,787К (К)
8	Кухня	713,26	323,1	54,6	0,81 м ²	КСК-20-0,787К (К)
9	Гостиная	1803,18	323,1	53	1,57 м ²	КСК-20-1,835К (К)
10	Гостиная	1803,18	323,1	51,2	1,66 м ²	КСК-20-1,966К (К)
11	Прихожая	466,27	323,1	49,7	1 м ²	КСК-20-1,049К (К)

Ниже приведены рисунки расстановки обогревательных приборов (рис 2.5) и аксонометрическая схема системы отопления. (рис 2.6):

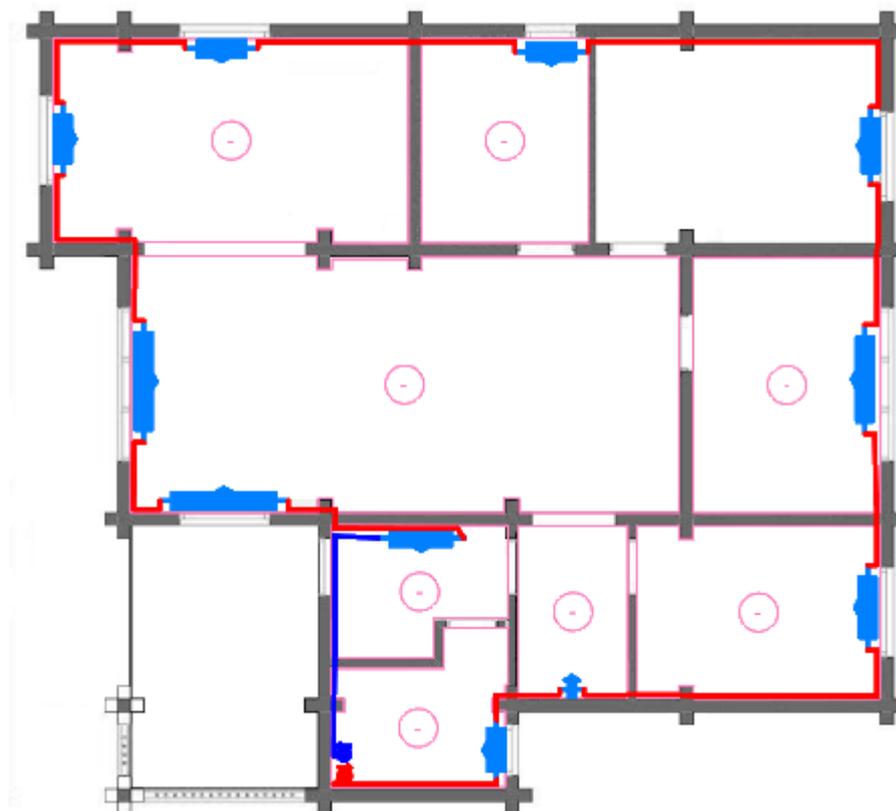


Рисунок 2.5 - Размещение радиаторов в доме

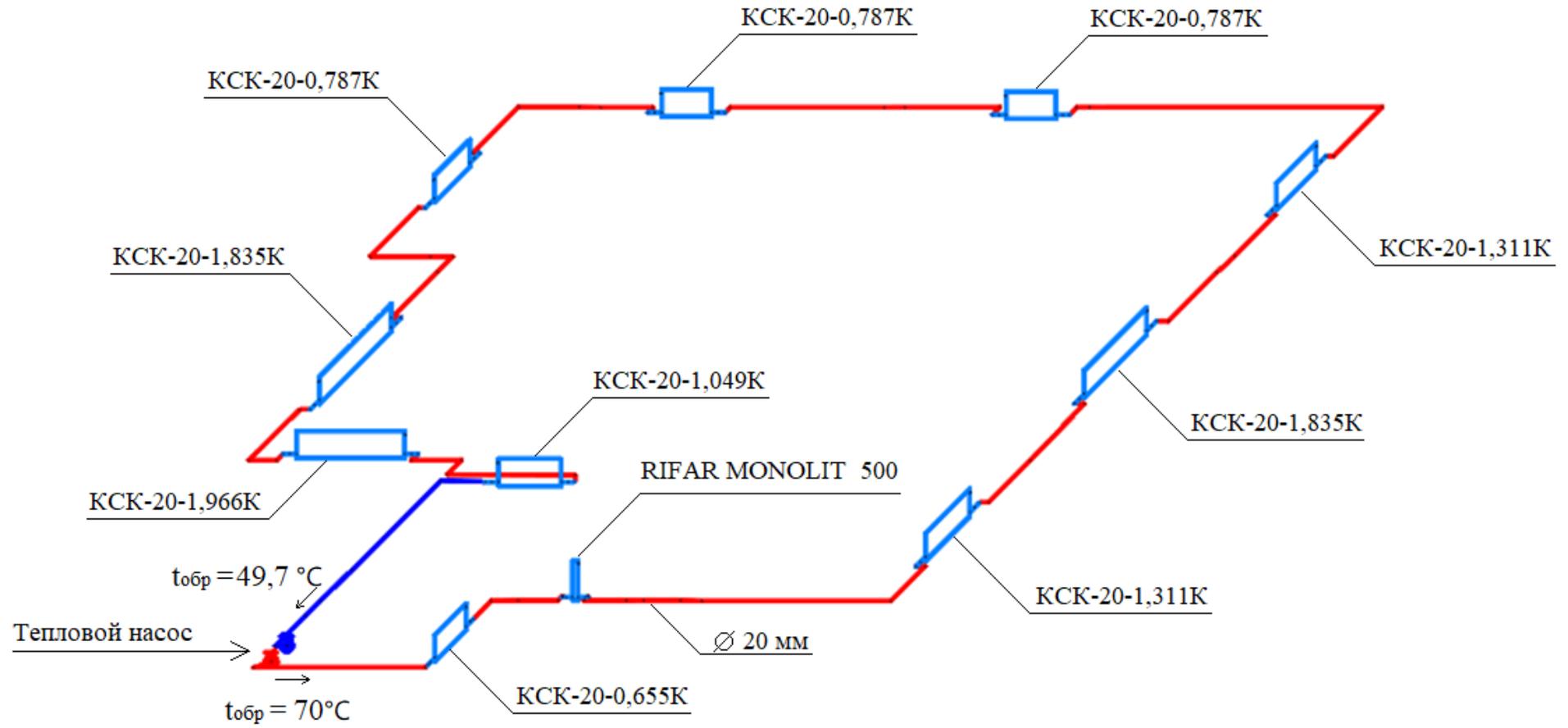


Рисунок 2.6 - Аксонометрическая схема расстановки конвекторов

2.7.2 Гидравлический расчет. Подбор насоса

Гидравлический расчет подразумевает под собой определение диаметров всех участков системы отопления так, чтобы располагаемого давления было достаточно для преодоления всех сил сопротивления.

Так как система отопления однотрубная, то циркуляционное кольцо и количество участков также будет одно.

Гидравлический расчет так же был проведен с помощью программы папoCAD «Отопление», результаты которого представлены в таблице.

Таблица 1.13 - Гидравлический расчет системы отопления

Номер участка	Расход теплоносителя $G_{уч}$, кг/ч	Длина, м	Диаметр участка d , мм	Удельное сопротивление на трение R , Па/м	Скорость движения теплоносителя v , м/с	Сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке	Суммарные потери давления, Па
1	323,1	45,18	20	26,28	0,159	1309	17237,46

По данным гидравлического расчета, давлению и расходу выбираем циркуляционный насос ALPHA2 32-40 N 180, КПД = 21,1 %:



Рисунок 2.7 – Насос ALPHA2 32-40 N 180

3. Расчёт и подбор теплового насоса

3.1 Выбор теплового насоса

Чтобы добиться высокой эффективности при пользовании тепловым насосом следует оказывать большое внимание температуре входа и выхода теплоносителя из внешнего теплообменника, поэтому следует руководствоваться конкретными условиями.

Во-первых, дом находится в условиях крайнего севера, где глубина промерзания грунта в глинах и суглинках составляет 2.75 м, то оптимальным выбором будет тепловой насос типа «вода-вода».

Во-вторых, необходимо учитывать глубину и доступность подземных вод, её качество, и возможность прокладки трубопровода.

Так существуют два основных метода установки внешнего теплообменника: горизонтальный и вертикальный.

Горизонтальная прокладка трубопровода осуществляется горизонтально по всей площади (рис. 3.2). Данный метод весьма прост, но менее эффективен, потому что глубина заложения труб составляет около 2 метров. Это плохо сказывается на работе теплового насоса, из-за глубины промерзания грунта, учитывая сезонную смену температуры.

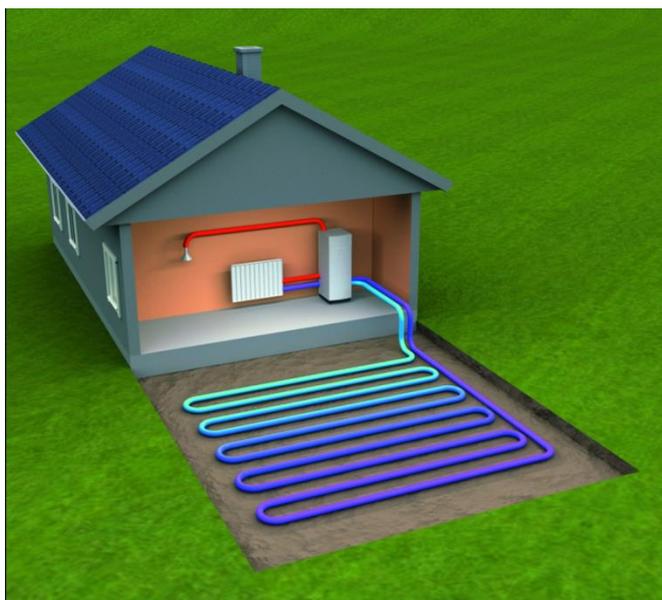


Рисунок 3.1 – метод горизонтального заложения трубопровода

Более эффективным методом заложения трубопровода является вертикальный метод. В данном случае прокладка труб внешнего теплообменника осуществляется в глубину на 30-150 метров (рис.). На такой глубине температура среды оптимально, и не изменяется в зависимости от времени года, что сохраняет энергоэффективную работу ТНУ. Однако этот метод размещения внешнего теплообменника гораздо трудоемок и требует больших затрат на бурение скважины.

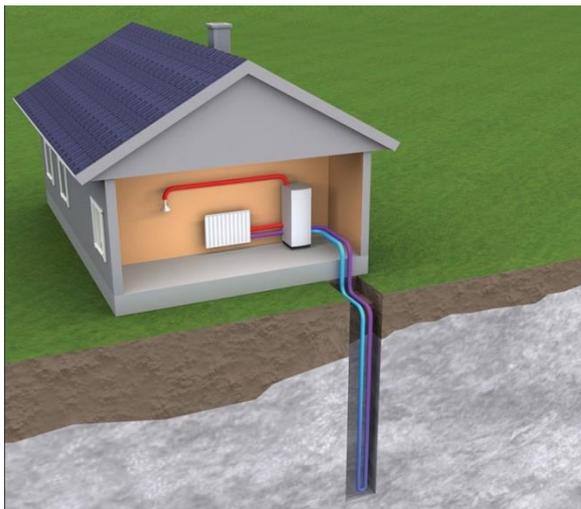


Рисунок 3.2 – скважинный метод заложения трубопровода

Наиболее эффективным решением в данном случае будет вертикальное заложение трубопровода для отопления. Постоянная температура подземных вод около $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ на глубине 40 метров в данном регионе обеспечивает стабильный источник тепла для теплового насоса, что позволяет системе работать более эффективно и экономично.

Для нашей системы возьмём тепловой насос фирмы NIBE F1145-10 EXP с характеристиками:

Таблица 2.1 – технические характеристики теплового насоса

Технические характеристики теплового насоса	
Номинальная тепловая мощность, кВт	10
Коэффициент эффективности COP	5,03
Температура теплоносителя на выходе в систему, $^{\circ}\text{C}$	70°
Рабочая температура, $^{\circ}\text{C}$	min -10° , max $+15^{\circ}$
Номинальное напряжение, В	380В/ 3 фазы
Тип хладагента	R407C
Номинальная потребляемая мощность, кВт	1,3
Производительность, л/ч	1800



Рисунок 3.3 – тепловой насос Thermex Energy Compact 8L

3.2 Расчёт грунтового коллектора

Количество теплоты, которое может быть использовано, и, следовательно, размеры необходимого теплосборника, в значительной степени определяются термофизическими характеристиками почвы, а также уровнем солнечной радиации, то есть климатическими условиями. Такие тепловые характеристики, как удельная теплоемкость и теплопроводность, во многом зависят от состава и структуры грунта.

В качестве ключевых факторов здесь выступают содержание воды, пропорции минеральных элементов, таких как кварц или полевопшпатовый шпат, а также объем и размеры пор, заполненных воздухом. В обобщенной форме можно утверждать, что способность к аккумуляции тепла и теплопроводность тем выше, чем больше влаги содержится в почве, чем больше минеральных компонентов и чем меньше пористость. Тепловая энергия, извлекаемая из недр земли, подобна тому, как вода извлекается из источника: её количество зависит от качества почвы, так же как и количество воды зависит от насыщенности источника. Эта энергия колеблется в пределах от 10 до 40 Вт/м². Шаг укладки труб, через которые циркулирует теплоноситель, варьируется от 0,6 до 1,0 метра, а глубина их залегания – от 1,2 до 1,5 метра [11].

Для того чтобы использовать тепло земли, в почву укладывают пластиковые трубы, известные как грунтовые коллекторы. По этим трубам течёт специальная жидкость, которая переносит тепло от земли к тепловому насосу. Эта жидкость должна быть устойчива к замерзанию, чтобы система могла функционировать даже в холодное время года. Важно также, чтобы при утечке жидкость не загрязняла грунтовые воды. Антифриз на основе этиленгликоля подходит для этих целей, так как он не только эффективно переносит тепло, но и предотвращает замерзание и коррозию системы. Это делает его идеальным выбором для использования в системах с тепловыми насосами.

Отбираемая тепловая мощность [11]:

- для сухого несвязанного грунта $q_E = 10\text{--}15 \text{ Вт/м}^2$
- для влажного связанного грунта $q_E = 15\text{--}20 \text{ Вт/м}^2$
- для очень влажного связанного грунта $q_E = 20\text{--}25 \text{ Вт/м}^2$
- для насыщенного водой грунта $q_E = 25\text{--}30 \text{ Вт/м}^2$
- для водоносного грунта $q_E = 30\text{--}40 \text{ Вт/м}^2$

Длина земляного зонда для теплового насоса определяется на основе теплопотребления дома и характеристик грунта. Требуемая длина зонда рассчитывается с учётом охлаждающей способности теплового насоса Q_o , которая, в свою очередь, является разностью между отопительной мощностью Q_k и потребляемой мощностью P . Формула для расчёта охлаждающей способности выглядит следующим образом [11]:

$$Q_o = Q_k - P, \quad (3.1)$$

Для определения длины грунтового коллектора теплового насоса, работающего при заданных температурных условиях, необходимо использовать специальную формулу. Она учитывает отопительную мощность, холодопроизводительность и потребляемую мощность насоса.

ТНУ имеет температуру источника тепла $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ и температуру в подающем трубопроводе системы отопления $+70 \text{ }^\circ\text{C}$

В данном случае, при отопительной мощности 10 кВт, холодопроизводительности 8 кВт и потребляемой мощности 2 кВт, можно вычислить длину грунтового коллектора по формуле [11]:

$$L = Q_o \div qE, \quad (3.2)$$

При удельной отбираемой тепловой мощности qE порядка 35 Вт/м², характерной для суглинка заданного региона, определяется минимальная длина зонда:

$$L = 8000/40 = 200 \text{ м};$$

Глубина укладки полимерных труб от 30 до 60 метров и шаг между трубами от 5 до 10 метров обеспечивают оптимальное извлечение тепла из грунта [11]. Укладывая трубы U-образным способом можно использовать максимальную площадь, тем самым добиться наибольшего теплообмена со средой.

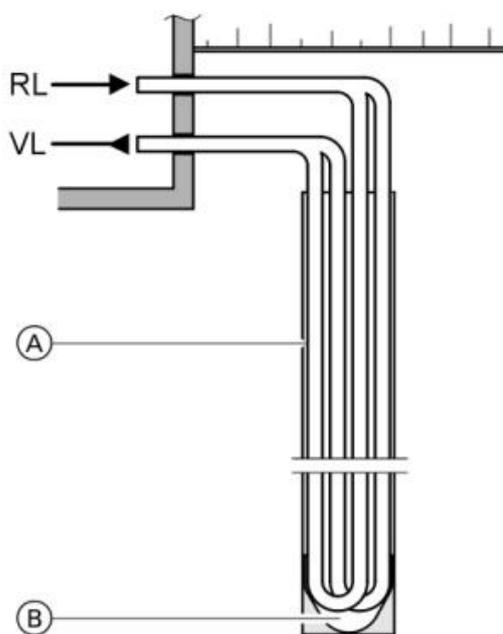


Рисунок 3.4 – U-образный коллектор

Расстояние между земляными зондами должно составлять при глубине до 50 м минимум 5 м [11]. В данном случае следует разместить зонды на глубине 55 метров с добавлением подающей и обратной труб для по 5 метров. Тогда общая длина зонда будет составлять 225 метров, что больше минимальной длины зонда.

Выбираем трубу PE 32x3 из сшитого полиэтилена с объемом 0,531 литров на метр.

Полный объем пропиленгликоля составит 360 литров с учетом количества рассола на тепловой насос.

3.3 Расчёт теплоносителя

При выборе теплоносителя следует уделять внимание характеристикам антифриза, таким как: температура замерзания, вязкость, экологичность, совместимость с другими материалами, безопасность.

Соблюдая все факторы, было принято решение выбрать антифриз на основе пропиленгликоля ХНТ-ХВ-50.

Таблица 2.2 – теплофизические свойства теплоносителя ХНТ-ХВ-50

Физические характеристики антифриза ХНТ-ХВ-50	
Температура кристаллизации, °С	-50
Плотность при температуре 20°С, кг/м ³	1114
Температура кипения, °С	+115
Температура замерзания, °С	-75
Динамическая вязкость при температуре 20°С, Па·с	5,2

Данный антифриз имеет низкую температуру кристаллизации, что важно для региона крайнего севера. Низкая вязкость будет обеспечивать эффективную работу системы. Ингибиторы коррозии, входящие в состав ХНТ-НВ, эффективно минимизируют риск коррозии металлических деталей в системе теплового насоса, обеспечивая их долговечность и надежность.

Это вещество экологически безопасно, не вызывает раздражения кожи или повреждений одежды и легко удаляется водой. В случае попадания в почву, пропиленгликоль быстро биоразлагается, не оказывая вредного воздействия на окружающую среду и водные объекты.

Для подбора насоса, циркулирующего теплоноситель, необходимо знать его расход и напор в коллекторе. Расход определяется следующим образом [11]:

$$G = \frac{Q_0}{(c \times \Delta t)}, \quad (3.3)$$

где G – расход теплоносителя в кг/с;

Q_0 – холодопроизводительность в кВт, составляет 8 кВт;

c – теплоемкость теплоносителя в кДж/кг·°С, в принимается 3,08 кДж/кг·°С;

Δt – перепад температур на входе/выходе из испарителя в °С, принимается 4°С.

Тогда расход равен:

$$G = \frac{8}{4 \cdot 3,08} = 0,6 \text{ кг/с} = 0,00053 \text{ м}^3/\text{с}$$

Суммарные потери напора h_w складывают из потерь напора по длине h_l и потерь напора на местные сопротивления h_m [12]:

$$h_w = h_l + \sum h_m \quad (3.3)$$

где h_l – потеря напора в метрах столба той жидкости, движение которой рассматривается.

Потери напора по длине определяются по формуле Дарси-Вейсбаха [12]:

$$h_l = \lambda \times \frac{l w^2}{d 2g} \quad (3.4)$$

где l – длина трубопровода, м;

D – внутренний диаметр трубы, м;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

w – средняя объемная скорость, м/сек, определяемая по расходу G , м³/с:

$$w = \frac{4 \times G}{\pi \times D^2} \quad (3.5)$$

λ – коэффициент гидравлического трения, безразмерная величина, характеризующая соотношение сил трения и инерции, и именно ее определение и есть предмет гидравлического расчета трубопровода. Коэффициент трения зависит от режима течения, и для ламинарного и турбулентного потока определяется по-разному.

$$w = \frac{4 \times 0,00053}{\pi \times 0,032^2} = 0,66 \text{ м/с}$$

Скорость течения жидкости равняется 0,66 м/с. Найдем число Рейнольдса для определения гидравлического сопротивления [12]:

$$Re = \frac{v \times D}{\vartheta}, \quad (3.6)$$

где ϑ – скорость потока жидкости, м/с;

D – внутренний диаметр трубы, то есть диаметр потока жидкости, м;

v – кинематическая вязкость.

Для данных расчетов эта величина равняется $1,39 \times 10^{-6}$. Внутренний диаметр трубы равняется 0,032 м.

Подставив значения, мы получаем:

$$Re = \frac{0,66 \times 0,032}{1,39 \times 10^{-6}} = 15194$$

Течение турбулентное. Коэффициент трения также очень точно определяется классическим уравнением Блязиуса [12]:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (3.7)$$

Коэффициент трения равняется:

$$\lambda = \frac{0,3164}{15194^{0,25}} = 0,0285.$$

Потеря напора при местных сопротивлениях вычисляется по формуле Вейсбаха [12]:

$$h_m = \xi \frac{w^2}{2g} \quad (3.8)$$

Сумма местных сопротивлений в трубопроводе с учетом изгиба составляет: $\sum h_m = 16$

$$h_w = \lambda \frac{l}{d} \frac{w^2}{2g} + \xi \frac{w^2}{2g} = 0,0285 \frac{225}{0,032} \frac{0,66^2}{2} + 16 \frac{0,66^2}{2 \times 9,81} = 4,8 \text{ м} = 49251,52 \text{ Па}$$

При длине трубопровода в 225 метров потери давления в трубопроводе равняются 49251,52 Па. Для грунтового коллектора выбран насос Grundfos MAGNA3 32-60 F N напором 49,25 кПа и расходом 1.9 м³/час, КПД – 49%



Рисунок 3.5 – Насос Grundfos MAGNA3 32-60 F N

3.4 Тепловая мощность здания

Тепловая мощность отопительной системы определяется как максимальное количество тепловой энергии, которое отопительная система способна передать в здание или конструкцию за единицу времени при температуре внешнего воздуха для данной местности. Измеряется она в ваттах (Вт) или киловаттах (кВт).

Отопительная система разработана для обеспечения в помещениях здания температурных условий, удобных для людей или соответствующих требованиям производственных процессов.

Температурный режим в помещении зависит от тепловой мощности отопительной системы, местоположения отопительных приборов, теплофизических характеристик внешних и внутренних перегородок, а также от интенсивности прочих источников теплопоступления и теплопотерь.

Во время холодов основные потери тепла в помещении происходят через внешние перегородки, а также, в некоторой степени, через внутренние перегородки, разделяющие его с соседними помещениями с более низкой температурой. Дополнительно, тепло расходуется на обогрев воздуха снаружи, проникающего в помещение через щели в перегородках естественным образом или во время работы вентиляционной системы, а также на обогрев материалов, транспортных средств, изделий и одежды, которые попадают в помещение холодными.

Необходимо распределить нагрузку отопления по месяцам, согласно данным из СП.131.13330.2020 Строительной климатологии [3], определяется количество отопительных месяцев среднемесячная температура которых ≤ 8 , и строится график теплопотребления (рис. 3.6). За максимальную нагрузку стоит принять суммарные теплопотери 9,4 кВт. Наиболее холодный месяц – январь.

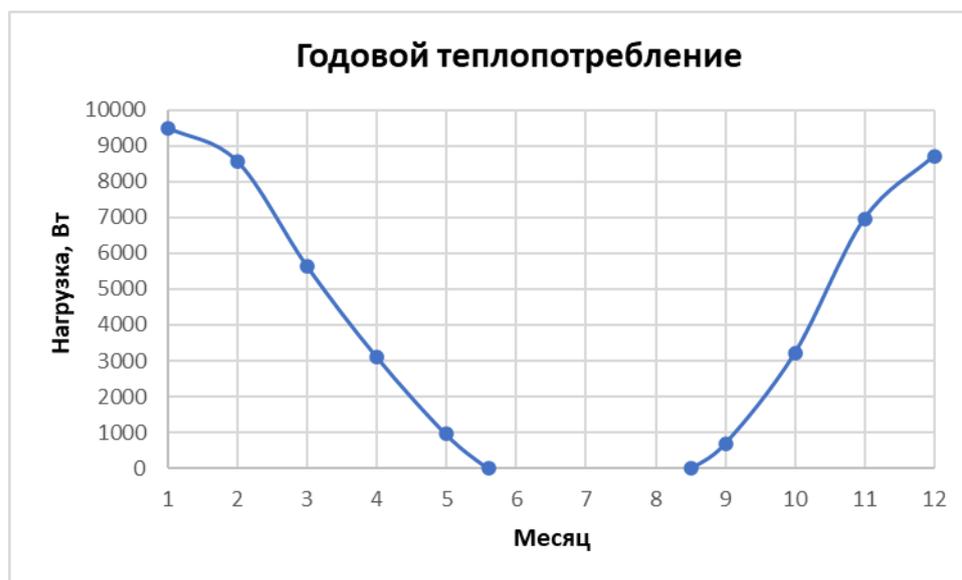


Рисунок 3.6 – График распределения нагрузки отопления по месяцам
Суммарное годовое теплопотребление составит – 46.5 кВт

3.5 Выбор дополнительного оборудования

Для обеспечения непрерывного отопления дома важно иметь систему, которая способна поддерживать комфортный микроклимат даже в случае временного отключения основного источника тепла. Установка буферной ёмкости, выступающей в виде теплового аккумулятора, позволяет накапливать излишки тепла, которые затем могут быть использованы при необходимости. Это создает резерв тепловой энергии, который может быть очень полезен, например, в холодное время года или когда тепловой насос требует обслуживания.

Добавление электродотла также является разумным решением, так как он может автоматически включаться, когда тепловой насос не справляется с

нагрузкой или нуждается в ремонте. Это обеспечивает дополнительную надежность системы отопления и гарантирует, что дом будет оставаться теплым в любых условиях.

3.5.1 Выбор бака аккумулятора

Тепловой аккумулятор является ключевым элементом в данной системе отопления, позволяющим эффективно управлять тепловой энергией. Он служит для накопления тепла, получаемого тепловым насосом, и сохраняет его для последующего использования. Материалы внутри бака, такие как вода, глина или керамические элементы, обладают высокой теплоемкостью, которые выступают в роли аккумуляции тепла.

Накопленное тепло способствует снижению потребления первичных энергоресурсов и повышению общей энергоэффективности системы.



Рисунок 3.7 – Общий вид аккумулятора тепла

Объёма бака аккумулятора напрямую зависит от запаса теплоты, зависящего от количества тепла выработанной в течение заданного времени:

$$V = \frac{Q_{\text{бак}}}{4200 \cdot (t_2 - t_1)} \quad (3.9)$$

где: V – удельный объём бака м^3 ;

t_1, t_2 – конечная и начальная температура теплоносителя соответственно $^{\circ}\text{C}$;

$Q_{\text{бак}}$ – необходимый запас теплоты, рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{бак}} = Q_{\text{от}} * \tau \quad (3.10)$$

где: $Q_{\text{от}}$ – мощность на покрытие нагрузки отопления кВт,

τ – время работы от бака аккумулятора

Зная мощность 9,4 кВт, необходимую на покрытие нагрузки отопления, и время за которое будет происходить запас тепла ночью 8 ч, определяется запас теплоты бака:

$$Q_{\text{бак}} = 9,4 * 8 = 75,2 \text{ кВт}$$

Необходимый объем бака равняется:

$$V = \frac{75,2}{4200 * (70 - 48)} = 1850 \text{ л}$$

По полученным данным выбираем буферную емкость Vufor 2000 л (Galmet).



Рисунок 3.8 – Буферная емкость Vufor 2000 л (Galmet)

Таблица 2.3 – характеристики буферной емкости Vufor 2000 л (Galmet)

Технические характеристики теплового аккумулятора	
Полезный объем, л	2023
Макс. рабочее давление, МПа	0,3
Макс. рабочая температура, °С	95
Толщина изоляции, мм	100
Высота, мм	2243
Диаметр, мм	1140

3.5.2 Выбор резервного источника отопления

В случаях когда тепловой насос будет выведен из строя, ввиду технического обслуживания или замены рассола, необходимо выбрать резервный источник отопления.

Исходя из тепловой мощности отопления, выбираем электродкотел ZOTA BALANCE V2 - 12



Рисунок 3.9 - Электродкотел ZOTA BALANCE V2 - 12

Таблица 2.4 – характеристики электродкотла ZOTA BALANCE V2 – 12

Технические характеристики электродкотла	
Номинальная тепловая мощность, кВт	12
Объём камеры, л	4
Питание, В	220/380
Рабочее давление, атм	6
Регулировка температуры нагрева воды, °С	от +30 до +90
Габариты, мм	640x260x153
Номинальный ток 3ф, А	20

3.5.3 Расчет бойлера косвенного нагрева для ГВС

Перед вычислением объёма бойлера косвенного нагрева для начала

необходимо определить расход теплой воды в сутки.

Максимальное водопотребление теплой воды приходится на утро и вечер. Общее количество санитарных приборов использующих ГВС составляет: душевая кабина – 1 шт., умывальник – 1 шт., мойка – 1 шт.

Согласно СП 30.13330.2020 «СНИП 2.04.01-85* Внутренний водопровод и канализация зданий» определяем секундный расход горячей воды каждым прибором [13]. Отсюда: душевая кабина – 5,4 л/мин, умывальник – 3 л/мин, мойка – 5,4 л/мин.

Задаем температуру горячей воды в бойлере – 55 °С. Температура используемой теплой воды – 40 °С. Температуру холодной воды примем – 10 °С.

Данный дом состоит из 5 человек. Среднем каждый проживающий принимает душ по 3 минуты по 2 раза, утром и вечером. После каждого приема пищи следует мыть посуду, что составляет 3 минуты (4 раза в день). А затрата времени на умывание и чистку зубов составит 1 минуту (2 раза в день). Также следует учесть что использование воды происходит без потерь.

Количество израсходованной теплой воды составит:

$$V_{ТВ} = q_{ТВ} * \tau * N_{л}, \quad (3.11)$$

где $q_{ТВ}$ – расход воды, л/мин;

τ – затрачиваемое время на использование теплой воды, мин;

$N_{л}$ – количество человек.

Отсюда, на принятие душа приходится – 162 л, мойка посуды – 64,8 л, умывание и чистка зубов – 30 л. Итого общее количество затрачиваемой воды – 256,8 л.

Данный расход теплой воды имеет температуру 40 °С, а горячей воды потребуется меньше, поэтому по формуле:

$$V_{ГВ} = V_{ТВ} * \frac{(t_{ТВ} - t_{ХВ})}{(t_{ГВ} - t_{ХВ})}, \quad (3.12)$$

где V - объем горячей воды (в бойлере косвенного нагрева), л

$V_{ТВ}$ - расходуемый объем теплой воды, л;

T_{ГВ} - температура горячей воды, °С;

T_{ТВ} - температура теплой воды, °С;

T_{ХВ} - температура холодной воды, °С;

$$V_{ГВ} = 256,8 * \frac{40-10}{70-10} = 128,4 \text{ л}$$

Отсюда выбираем бойлер косвенного Eldom GREEN LINE SL150 со встроенным ТЭНом (рис. 3.10), что позволяет пользоваться прибором летом при отключенном тепловом насосе.



Рисунок 3.10 – Бойлер косвенного нагрева Eldom GREEN LINE SL150

Таблица 2.5 – характеристики бойлера косвенного нагрева Eldom GREEN LINE SL150

Технические характеристики электродкотла	
Объем номинальный, л	150
Минимальная температура нагрева воды, °С	+5
Максимальная температура нагрева воды, °С	+70
Макс. рабочее давление в резервуаре, бар	6
Мощность ТЭНов, кВт	2
Размеры (ВхШхГ), мм	1420x462x462

4. Расчет солнечных панелей

4.1 Расчет прямой и рассеянной солнечной инсоляции

Расчет солнечных панелей для автономных систем рассчитывается на основе потребности в необходимой мощности электроэнергии, времени года и географического положения. Чтобы добиться максимальной производительности, панели необходимо устанавливать перпендикулярно солнечным лучам. Однако добиться абсолютной перпендикулярности не представляет возможным, поэтому перед установкой панелей стоит найти оптимальную ориентацию в пространстве. Для определения положения солнечной панели необходимо учитывать основные угловые параметры [14].

При расчёте площади поверхности солнечных панель сперва необходимо найти прямую и рассеянную радиацию. Для этого из справочника [15] табл. 1.8 и 1.9 выписываются среднесуточные значения солнечной интенсивности в п. Тура, Красноярского края для широты $\varphi = 64^\circ$.

На основании этих данных составим график суммы прямой и рассеянной солнечной радиации за каждый месяц:

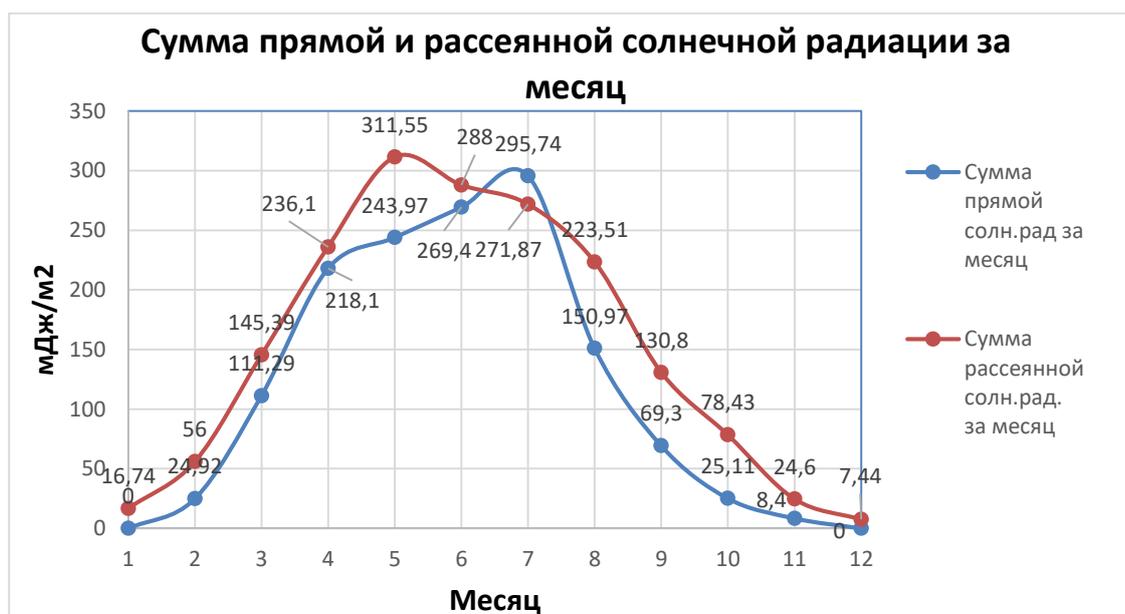


Рисунок 4.1 – Суммы прямой и рассеянной солнечной радиации за каждый месяц

Интенсивность солнечной радиации для каждого светового дня определяется по следующей формуле [14]:

$$q_i = P_s I_s + P_g I_g, \quad (4.1)$$

где P_s, P_g – коэффициенты расположения солнечного коллектора;

I_s, I_g – значения прямой и рассеянной радиации, $\frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}$;

Коэффициент расположения коллектора для рассеянного излучения зависит от угла наклона β солнечного коллектора к горизонту. Он находится по следующей формуле [14]:

$$P_g = \cos^2 \frac{\beta}{2}, \quad (4.2)$$

Угол наклона к горизонту принимается в зависимости от периода эксплуатации [14]. Для круглогодичной работы он равняется широте: $\beta = \varphi = 64^\circ$. Для сезонного использования угол составляет: $\beta = \varphi - 15^\circ$. Так как коллектор будет рассчитан для круглогодичного использования. Соответственно, угол наклона составляет 64° .

Коэффициент расположения солнечного коллектора для прямой радиации P_s является функцией широты местности φ , угла наклона коллектора β и угла склонения солнца δ . Поэтому для упрощения вычислений составлены таблицы, по которым находят P_s в зависимости от широты местности φ и угла склонения солнца δ для каждого месяца. Все полученные расчеты сведем в таблицу:

Таблица 3.1 - Прямое рассеянное солнечное излучение

Данные по солнечному излучению												
Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$I_s, \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}$ (за сутки)	0,00	0,89	3,59	7,27	7,87	8,98	9,54	4,87	2,31	0,81	0,28	0,00
$I_g, \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}$ (за сутки)	0,54	2,00	4,69	7,87	10,05	9,60	8,77	7,21	4,36	2,53	0,82	0,24
P_g	0,719	0,719	0,719	0,719	0,719	0,719	0,719	0,719	0,719	0,719	0,719	0,719
P_s	8,13	4,45	1,29	1,35	0,95	0,82	0,88	1,17	1,86	3,43	6,76	10,59
$I_s, \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}$ (за месяц)	0	25	111	218	244	269	295	151	69	25	9	0
$I_g, \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}$ (за месяц)	17	56	145	236	312	288	272	224	131	78	28	7
$q_{\text{инс}}, \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}$ (за сутки)	0,39	5,40	8,00	15,47	14,70	14,70	14,70	10,88	7,43	4,60	2,48	0,17
$q_{\text{инс}}, \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}$ (за месяц)	12,22	151,51	247,45	463,98	456,13	427,65	455,17	337,73	222,53	141,83	80,97	5,03
$q_{\text{инс}}, \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{м}^2}$ (за сутки)	0,11	1,50	2,22	4,30	4,08	3,96	4,08	3,02	2,06	1,28	0,69	0,05
$q_{\text{инс}}, \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{м}^2}$ (за месяц)	3,40	42,09	68,73	128,88	126,70	118,79	126,44	93,81	61,81	39,40	22,49	1,40

На основании полученных данных строится график интенсивности солнечной радиации за месяц (рис. 4.2):

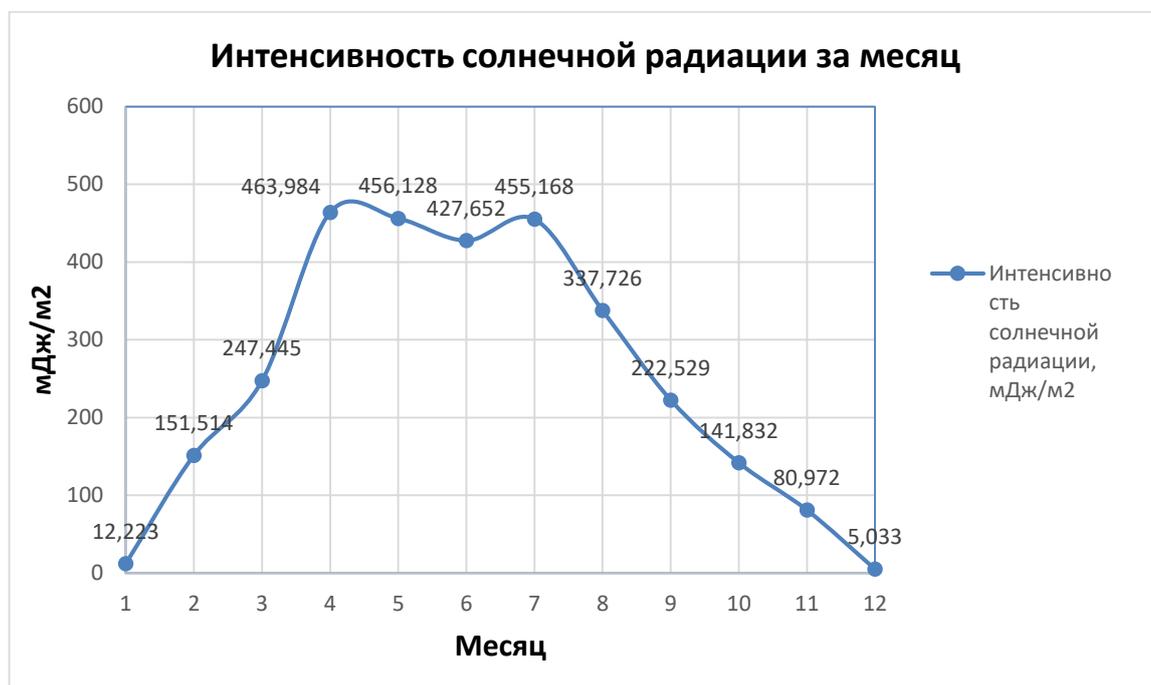


Рисунок 4.2 - Интенсивность солнечной радиации за месяц

4.2 Расчет количества энергии, вырабатываемой солнечными панелями

Для того чтобы рассчитать количество энергии, вырабатываемой солнечными панелями, необходимо найти площадь крыши. При проектировании жилого дома следует выбрать левый скат крыши, ориентированной на юг. Общая площадь ската крыши составит 66,55 м².

Для холодного климата лучше всего подходят солнечные панели, изготовленные на основе монокристаллического кремния. Поэтому выбираем следующие модели FSM 550M TP – 25 шт. и FSM 340P – 1 шт.



А)



Б)

Рисунок 4.3 – Солнечные панели:

А) FSM 550M TP

Б) FSM 340P

Таблица 3.2 - Характеристики солнечных панелей

Характеристики	FSM 550M TP	FSM 340P
Номинальная мощность, Вт	550	340
Номинальное напряжение, В	24	24
Максимальный ток, А	13,32	8,92
Ток короткого замыкания, А	14,03	9,38
КПД модуля, %	21,3	17,5
Размер модуля, мм:	2279 x 1134 x 35	1956x992x40

Количество электроэнергии, вырабатываемой 26 шт. солнечными панелями за месяц/сутки, рассчитывается по формуле [17]:

$$E_B = \frac{q_{инс} \times P_{сп}}{P_{инс} \times k}, \quad (4.3)$$

где E_B – количество энергии вырабатываемой солнечными панелями, кВт·ч;

$q_{сумм}$ – месячная/суточная инсоляция, кВт·ч/м², определяется по таблице 7;

$P_{инс}$ – мощность инсоляции на земной поверхности на одном квадратном метре, равна 1000 Вт/м² [17];

k – коэффициент потерь на заряд-разряд аккумуляторов преобразования постоянного напряжения в переменное обычно принимают равным 1,2...1,4 [17];

$P_{СП}$ – мощность солнечных панелей, Вт.

Полученные значения электроэнергии за месяц и за сутки, заносятся в таблицу 3.3 и графически изображаются на рис.4.3:

Таблица 3.3 – выработка электроэнергии солнечными панелями

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$E_{в,}$ кВт·ч (за сутки)	1,1	15,1	22,4	43,3	41,1	39,9	41,1	30,4	20,8	12,8	6,9	0,5
$E_{в,}$ кВт·ч (за месяц)	34, 2	423, 6	691,8 7	1297, 1	1275, 2	1195, 6	1272, 5	944, 2	622, 1	396, 5	226, 4	14, 1

Выработка электроэнергии за год составит 8393,07 кВт·ч.



Рисунок 4.4 - Количество энергии, вырабатываемой солнечными панелями.

5. Выбор оборудования для солнечного электроснабжения

5.1 Определение емкости аккумуляторных батарей

Перед началом расчета емкости аккумуляторных батарей (далее АКБ), необходимо определить максимальную выработку энергии солнечными панелями за сутки. Согласно таблице 9, максимальная выработка приходится на апрель и составляет 43,3 кВт·ч. За напряжение системы примем напряжение 24 В.

Емкость АКБ выбирается из стандартного ряда емкостей с округлением в сторону, большую расчетной. Расчетная емкость АКБ (А·ч) определяется по формуле [17]:

$$C_{\text{расч}} = \frac{E_{\text{в}}}{U_{\text{сис}} \times \delta}, \quad (5.1)$$

где $U_{\text{сис}}$ – номинальное напряжение системы, В;

δ – допустимая величина разряда.

От глубины разряда АКБ δ зависит срок службы аккумуляторной батареи. Чем больше δ , тем быстрее АКБ выйдут из строя. Рекомендуемое значение глубины разряда 50 % [17].

Тогда расчетная емкость АКБ составит:

$$C_{\text{расч}} = \frac{43,3}{24 \times 0,5} = 3,6 \text{ кА} \cdot \text{ч}$$

Емкость аккумуляторной батареи зависит также от температуры окружающей среды. Уменьшение емкости АКБ при понижении температуры учитывает температурный коэффициент $K_{\text{с}}$, значения которого берутся из графика (рис. 5.1) [17].

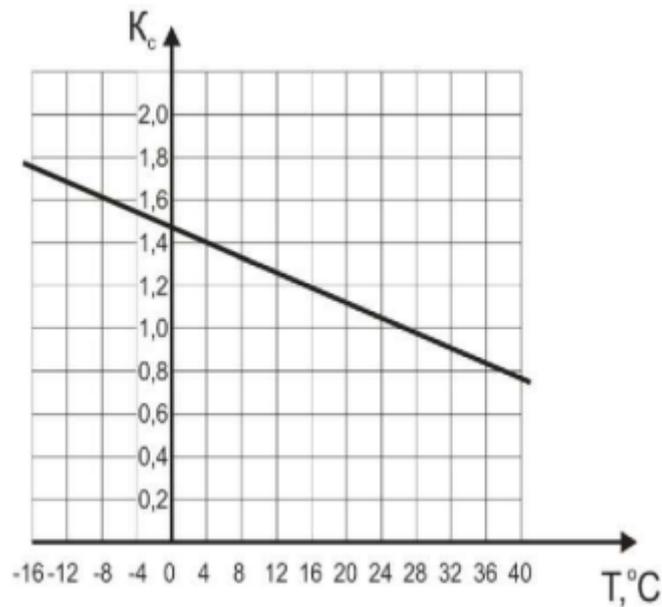


Рис. 5.1 – Зависимость $K_c = f(T)$

Аккумуляторные батареи будут размещены в котельной, температура внутреннего воздуха которого равна $16\text{ }^\circ\text{C}$, значит стоит принять температурный коэффициент $K_c = 1,2$.

Отсюда, общая требуемая емкость аккумуляторной батареи составит по формуле [17]:

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{расч}} \times K_c \quad (5.2)$$

$$C_{\text{общ}} = 3,6 \times 1,2 = 4,32 \text{ кА}\cdot\text{ч}$$

Разделив $C_{\text{общ}}$ на номинальную емкость аккумулятора $C_{\text{ном}}$, получается количество аккумуляторов, соединенных параллельно [17]:

$$m = \frac{C_{\text{общ}}}{C_{\text{ном}}}, \quad (5.3)$$

где $C_{\text{ном}}$ – номинальная емкость АКБ, А·ч;

Чтобы получить количество последовательно соединенных аккумуляторов, необходимо разделить номинальное напряжение постоянного тока системы на номинальное напряжение выбранного аккумулятора [16]:

$$n = \frac{U_{\text{сис}}}{U_{\text{ном}}} \quad (5.4)$$

Отсюда общее число АКБ составит:

$$n \times m = \frac{U_{\text{сис}}}{U_{\text{ном}}} \times \frac{C_{\text{общ}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{24}{2} \times \frac{4320}{3432} = 15,1 \approx 16 \text{ шт}$$

Выбираем аккумулятор Sunlight 24 OPzV 3000, технические характеристики которого представлены в таблице 4.1.

Выбранные АБ подключаются параллельно.



Рисунок 5.2 - Аккумулятор Sunlight 24 OPzV 3000

Таблица 4.1 - Технические характеристики аккумулятора Sunlight 24 OPzV 3000

Технические характеристики аккумуляторной батареи	
Ёмкость, А·ч	3432
Максимальная длина, мм	576
Максимальная ширина, мм	212
Максимальная высота, мм	717
Номинальное напряжение, В	2

5.2 Выбор инвертора для солнечных панелей

Инвертор – это устройство, которое преобразует постоянный ток фотоэлектрической солнечной панели в переменный с изменением значения напряжения.

В рассчитываемой системе солнечного электроснабжения номинальное напряжение сети 24 В. Максимальная мощность солнечных панелей составляет 14,1 кВт.

По этим данным стоит выбрать инвертор M-DRIVER 380В 15кВт C0150G3



Рисунок 5.3 - Инвертор M-DRIVER 380В 15кВт C0150G3

Технические характеристики устройства представлены в таблице 11

Таблица 4.2 – Технические характеристики инвертора M-DRIVER 380В 15кВт C0150G3

Технические характеристики аккумуляторной батареи	
Номинальная мощность, Вт	15000
Напряжение цепи АБ, В	24
Выходное напряжение, В	220-380
Частота, Гц	50
Габариты [В×Г×Ш], см	160x290x182

5.3 Выбор контролера заряда для солнечных панелей

Контроллер заряда – это устройство, которое управляет процессом зарядки аккумуляторной батареи от солнечных панелей. Контроллеры заряда служат важной функцией в автономных солнечных системах, обеспечивая

корректную подзарядку аккумуляторов и предотвращая их перезаряд, что может произойти, если солнечные панели продолжают генерировать электричество после полной зарядки батарей.

Для данной системы стоит выбрать контролер заряда Epever Tracer 10420AN 100A в количестве 4 шт., которые обеспечат параллельное подключение солнечных панелей по 5000 Вт, при напряжении системы 24 В. Технические характеристики представлены в таблице 4.3.



Рисунок 5.4 – Контролер заряда Epever Tracer 10420AN 100A

Таблица 4.3 - Технические характеристики контролера заряда Epever Tracer 10420AN 100A

Технические характеристики аккумуляторной батареи	
Максимальны ток заряда, А	100
Диапазон напряжения аккумуляторов, В	8 - 68
Максимальное напряжение солнечных панелей, В	<200
Максимальная мощность солнечных батарей, Вт	5000
Количество параллельного подключения	7
Габариты, мм	394×242×143

5.3 Выбор автоматического ввода резерва

Для того, чтобы использовать электричество, накопленное в АКБ, необходимо установить такое устройство, которое будет бесперебойно переключать нагрузку с аккумуляторов на городскую сеть. В роли такого устройства выступает автомат ввода резерва.

Автоматический ввод резерва (далее АВР) – это устройство, контролирующее уровень напряжения в основной и резервной сетях.

Если возникают проблемы с основным источником электроснабжения, такие как отключение электроэнергии или снижение напряжения до неприемлемого уровня в АКБ, АВР автоматически будет разъединять потребителя от резервного источника питания дома и переключать на основную сеть, и наоборот в случае отключения городской сети от потребителя, в виду аварий или наладочных работ, АВР бесперебойно будет подключать аккумуляторы к домашней электросети.

Выбираем Автомат ввода резерва FTS-63-2P (рис. 5.5).



Рисунок 5.5 - Автомат ввода резерва FTS-63-2P

Таблица 4.4 - Технические характеристики АВР FTS-63-2P

Технические характеристики АВР	
Напряжение, В	220
Частота, Гц	50
Максимальный ток, А	63
Время переключения, мс	15

6. Расчет потребляемой энергии электрооборудованием

Для того чтобы рассчитать ежедневную потребность в электроэнергии, сначала необходимо определить общее количество электрооборудования, мощность потребления, и количество часов работы за день. В приоритете необходимо оставить расход электроэнергии оборудованием ТНУ в отопительный период, в летний на бойлер косвенного нагрева.

Так как отопительная нагрузка теплового насоса в течение года не равномерна, необходимо определить расход затрачиваемой электроэнергии на производство тепловой согласно (рис. 3.6):

$$W = \frac{Q}{\mu}, \quad (6.1)$$

где μ - коэффициент преобразования электроэнергии, согласно паспортным данным теплового насоса (табл. 2.1);

Q – выработка теплоты насосом, кВт;

Составим таблицу потребления электроэнергии тепловым насосом.

Таблица 5.1 – Потребляемая электроэнергия ТНУ за месяц

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q, кВт	9334	8419	5549	3061	935	0	0	0	135	629	1361	1703
W, кВт	1855	1673	1103	608	186	0	0	0	135	629	1361	1703

Помимо теплового насоса, тепловая нагрузка которого не постоянна, необходимо рассчитать время полного нагрева воды в бойлере для ГВС.

Количество теплоты необходимой для нагрева воды до 55°C. Все исходные данные берутся из технических характеристик бойлера (табл):

$$Q_6 = cm\Delta t, \quad (6.2)$$

где c – теплоемкость воды, Дж/кг·°C;

m – масса нагреваемой воды, кг;

Δt – разница температур горячей и холодной воды соответственно, °C (55/10°C).

Из формулы Джоуля-Ленца выражаем время τ нагрева воды ТЭНов, и приравниваем количество теплоты:

$$cm\Delta t = P_T \tau, \quad (6.3)$$

где P_T – мощность ТЭНов, Вт

Отсюда время нагрева воды в день:

$$\tau = \frac{cm\Delta t}{P_T} = \frac{4190 \times 148,5 \times 45}{2000 \times 3600} \approx 4 \text{ ч}$$

Все необходимые данные сводятся в таблицу.

Таблица 5.2 – Потребляемая мощность электроприборов

Наименование	Мощность, Вт	Число часов использования, в месяц	Потребляемая нагрузка в месяц, кВт·ч
Оборудование ТНУ			
Насос ALPHA2 32-40 N 180	-	-	2,64*
Насос на коллектор	-	-	7,6*
Инвертор	20	720	14,4
Контролер	5	720	3,6
Оборудование для ГВС			
Бойлер	2000	120	240
Бытовые электроприборы			
Микроволновая печь	700	15	10,5
Холодильник	350	180	63
Фен	1500	15	22,5
Электрическая печь	1200	48	45,5
Электрочайник	500	15	7,5
Компьютер	300	150	45
Люминесцентная лампа -50 шт	8,5	300	127,5
Телевизор -3 шт	300	120	108
Утюг	500	60	30
Миксер	300	7,5	2,25
Пылесос	1000	9	9
Зарядные устройства – 5 шт	5	150	0,75
Стиральная машинка	1000	20	20

*Примечание – данная нагрузка рассчитана согласно оптимальной работе насоса, с помощью расходно-напорной характеристики.

Получившиеся результаты сводятся в таблицу, с распределением электропотребления оборудования в зависимости от их использования. И с учетом выработки электроэнергии солнечными панелями, стоит рассчитать общее количество электрозатрат (табл. 5.3).

Таблица 5.3 - Общее потребление электроэнергии в месяц:

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Сумма
W, кВт	2375	2193	1623	1128	706	760	760	760	655	1149	1881	2223	16210
E _в , кВт·ч	34	424	692	1297	1275	1196	1272	944	622	397	226	14	8393
Общие затраты на э/э	2341	1769	931	-169	-569	-436	-513	-184	33	752	1654	2209	7817

Для наглядности, по таблице 5.3 строится график (рис 6.1):

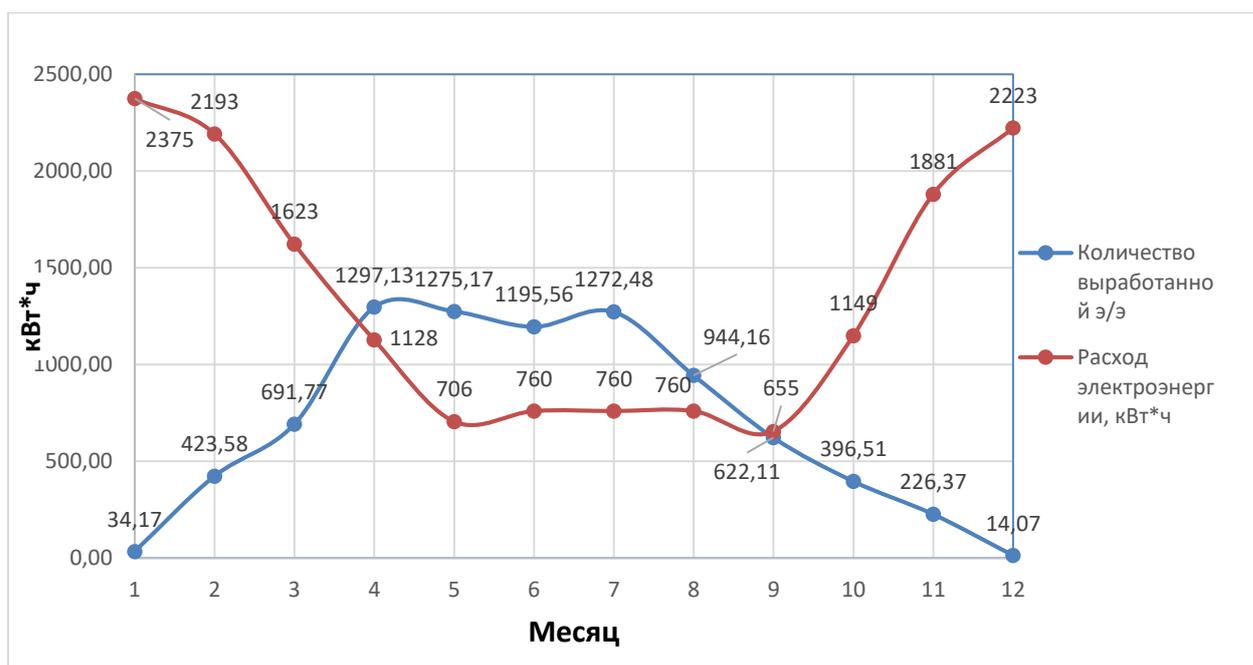


Рисунок 6.1 – Покрываемая мощность электричества солнечными панелями

Из полученных данных видно, что мощности солнечных панелей недостаточно чтобы покрыть всю электрическую нагрузку оборудования ТНУ. Зато, когда уменьшается потребность в тепле, и увеличении интенсивности солнечной инсоляции, автономная ФЭС целиком и полностью способна покрывать, как все затраты электроэнергии для нагрева горячей воды в бойлере, так и полный расход электричества бытовыми приборами.

По данным таблицы 5.3 следует, что годовой избыток в электроэнергии составляет 1872 кВт·ч. А значит существует возможность продажи избыточной электроэнергии в энергосбытовые компании, что снизит общие издержки и уменьшит окупаемость оборудования.

6.1 Продажа электроэнергии

На основании Федерального закона от 27.12.2019 № 471-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон "Об электроэнергетике" в части развития микрогенерации» [18], с 2019 года любой человек или предприятие с собственным объектом микрогенерации, при условии, что общая мощность энергопринимающих устройств не превышает значения в 15 кВт, могут продавать излишки вырабатываемой электроэнергии в энергосбытовые или сетевые компании, которые в свою очередь обязуются купить с тарифной ставкой выше предоставляемой этой компании населению.

С проектируемая автономная ФЭС в данной работе отвечает всем требованиям федерального закона (далее ФЗ), мощность которой в сумме составляет 14,1 кВт, что не нарушает ФЗ на объект микрогенерации. Это означает что избыточная электроэнергия, вырабатываемая солнечными панелями, может уходить в продажу сетевой компании.

Полная процедура, для продажи электроэнергии:

1. Необходимо составить заявление в сетевой компании, приложив правоустанавливающие документы на дом и землю.
2. Получить одобрение и пройти специальные технические условия по автономной ФЭС.
3. После одобрения заменить электросчетчик на двунаправленный (это выполняют электромонтеры).
4. Заключить договор купли-продажи электричества с компанией.

Для продажи электроэнергии сетевой компании не обходимо установить дополнительный инвертор M-DRIVER 380V 15кВт C0150G3.

Общая схема автономно ФЭС будет выглядеть (рис 6.2):

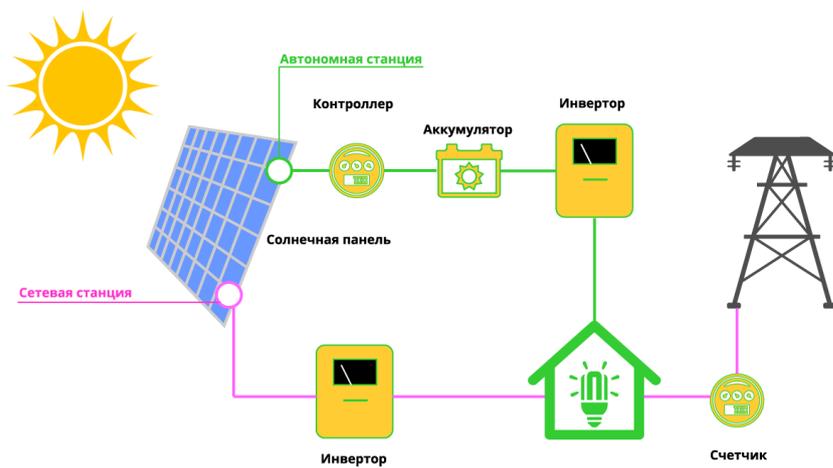


Рисунок 6.2 – Схема автономной ФЭС

7. Экономическое обоснование

Экономическое обоснование данной ВКР выполняется относительно применения теплового насоса и автономной фотоэлектрической станции.

Геотермальная энергия, произведенная тепловым насосом, экономически будет сравниваться со стоимостью предоставляемой тепловой энергии тепловой компанией, а возмещением затрат в электричестве будет заниматься автономная электростанция, с учетом прибыли от продажи избыточной электроэнергии.

Общее теплопотребление за год:

$$Q_{\text{год}} = 46563,7 \text{ Вт} = 28,8 \text{ Гкал}$$

С учетом тарифной ставки за тепловую энергию п. Тура (15943 руб/Гкал), получим годовую экономию в рублях:

$$\mathcal{E}_{\text{тепл}} = Q_{\text{год}} \times T = 28,8 \times 15943 = 459158 \text{ р/год}$$

Количество сэкономленной электроэнергии за год по данным таблицы 6 составит:

$$W_{\text{изб}} = 1872 \text{ кВт} \cdot \text{ч} - \text{количество избыточной энергии};$$

$W_{\text{покр}} = 6521 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ – количество покрываемой электроэнергии солнечными панелями.

В пересчет в рублях, с учетом тарифных ставок: субсидиальный тариф – 2,2 р/кВт·ч (покупная), одноставочный тариф -47 р/кВт·ч (продаваемая):

$$\mathcal{E}_{\text{эл}}^{\text{покр}} = 6521 \times 2,2 = 14346 \text{ р/год}$$

$$\mathcal{E}_{\text{эл}}^{\text{изб}} = 1872 \times 47 = 87984 \text{ р/год}$$

Для расчета капитальных вложений помимо стоимости оборудования необходимо учитывать стоимость электромонтажных работ, земельных работ, и пуско-наладочных работ.

Капиталовложения в проект вычисляются:

$$K_{\text{тну}} = K_{\text{об}} + K_{\text{м}} + K_{\text{пн}} + K_{\text{з}}, \quad (7.1)$$

Всю стоимость оборудования и необходимых работ по её установке сводится в таблицу:

Таблица 6.1 - Перечень необходимого оборудования, работ и их стоимость для ТНУ

Наименование оборудования/работ	Количество, шт.	Цена, руб.	Стоимость, руб.
Тепловой насос NIBE F1145-10 EXP	1	631 635	631 635
Комплект труб PE 32x3, PPR фитингов, латунных кранов и фитингов, фильтра, крепежа	1	38 732	38 732
Комплект для обвязки геоконтур PPR трубы, PPR фитингов, латунных кранов и фитингов, фильтра, крепежа)	1	19 463	19 463
Насос Grundfos MAGNA3 32-60 F N	1	121 464	121 464
Буферная емкость Bufor 2000 л (Galmet)	1	273 100	273 100
Бойлер косвенного нагрева Eldom GREEN LINE SL150	1	54 600	54 600
Электротехнические материалы	1	15 000	15 000
Работы по монтажу теплового насоса	1	35 000	35 000
Работы по монтажу циркуляционного насоса коллектора	1	6 000	6 000
Работы по монтажу буферной емкости	1	8 000	8 000
Работы по монтажу бойлера	1	6 000	6 000
Работы по монтажу геотермального коллектора	1	25 500	25 500
Работы по монтажу электроники	1	20 000	20 000
Пусконаладочные работы	1	12 000	12 000
Буровые работы с заведением геотермальных зондов, м	55	2 200	121 000
Геотермальный зонд	2	74060	74060
Раствор пропиленгликоля 40% ХНТ-ХВ-50, л	360	85,00	30600

Земляные работы, укладка горизонтальных участков и опрессовка зондов (+материалы для горизонтальных участков)	1	34 500	29 500
Геотермальный коллектор на 2 выхода	1	29 852	25 852
ИТОГО:	1 489 311		

Общие капитальные вложение в монтаж ТНУ составило:

$$K_{\text{ТНУ}} = 1489311 \text{ руб}$$

Срок окупаемости:

$$C_{\text{ок}}^{\text{ТНУ}} = \frac{K_{\text{ТНУ}}}{\dot{E}_{\text{тепл}}} = \frac{1489311}{459158} = 3,24 \text{ год} \quad (7.2)$$

По аналогу составляем таблицу капитальных вложений и для автономной ФЭС.

Таблица 6.2 - Перечень необходимого оборудования, работ и их стоимость для автономной ФЭС

Наименование оборудования/работ	Количество, шт.	Цена, руб.	Стоимость, руб.
Солнечные панели FSM 550M TP	25	17 204	430100
Солнечные панели FSM 340P	1	10 375	10 375
Аккумулятор Sunlight 24 OPzV 3000	16	22 632	362112
Инвертор M-DRIVER 380В 15кВт C0150G3	2	30 100	60 200
Контролер заряда Epever Tracer 10420AN 100A	1	34 600	34 600
Автомат ввода резерва FTS-63-2P	1	6 000	6 000
Кабель FRCable для солнечных батарей	1	16 000	16 000
Работы по монтажу солнечных панелей	1	53 475	53 475
Работа по монтажу проводки кабеля	1	35 200	35 200
Работа по монтажу инвертора, контролера, АКБ	1	20 000	20 000

Продолжение таблицы 6.2

ИТОГО:	1028062
---------------	----------------

Общие капитальные вложения в монтаж автономной ФЭС составило:

$$K_{\text{сп}} = 1028062 \text{ руб}$$

Срок окупаемости:

$$C_{\text{ок}}^{\text{сп}} = \frac{K_{\text{тну}}}{\Delta_{\text{эл}}^{\text{покр}} + \Delta_{\text{эл}}^{\text{изб}}} = \frac{1028062}{102330} = 10,04 \text{ года}$$

Общий срок окупаемости:

$$C_{\text{ок}}^{\text{общ}} = \frac{K_{\text{тну}} + K_{\text{сп}}}{\Delta_{\text{тепл}} + \Delta_{\text{эл}}^{\text{покр}} + \Delta_{\text{эл}}^{\text{изб}}} = \frac{1028062 + 1489311}{102330 + 459158} = 4,5 \text{ года}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной ВКР были изучен теоретический материал по использованию тепловых насосов и солнечных панелей. Оценено географическое расположения объекта и климатические условия. Был проведен расчет теплопотерь здания, подобрано все необходимое оборудование ТНУ для отопления. Рассчитаны размеры земляного коллектора. Подобрано оборудование для горячего водоснабжения.

Согласно анализу месячной интенсивности солнечной радиации, по результатам которой было принято решение по установке солнечных панелей с необходимым оборудованием. Произведен расчет годовой выработки электроэнергии автономной ФЭС. В то время, когда будет работать тепловой насос, будет происходить лишь частичное покрытие нагрузки в электричестве ввиду с большим потреблением электроэнергии оборудования ТНУ. Зато, в то время, когда заканчивается отопительный период, вырабатываемой электроэнергии хватает с избытком, которая, в свою очередь, будет уходить в продажу сетевым компаниям.

Комбинированная система в виде теплового насоса и солнечных панелей показала срок окупаемости проекта в 4,5 года при сроке службы в 25 лет, что является хорошим показателем. Это система отличается своей экологичностью ведь для производства тепла и электроэнергии не нужно сжигать традиционное топливо.

В данном регионе, в котором находится объект исследования, присутствует дефицит в ископаемом топливе, в результате чего тарифы на энергию слишком высокие. Поэтому главным преимуществом теплового насоса и солнечных панелей является доступность природных ресурсов, которые практически не ограничены.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Применение тепловых насосов в системах отопления / А.А. Иванов, С.В. Петров, Е.В. Смирнова // Теплоэнергетика. - 2018. - № 2. - С. 24-29.
2. Тепловой насос: устройство, принцип работы, преимущества и недостатки [Электронный ресурс]. URL: <https://energoberezhenie.com.ua/teplovooy-nasos-ustroystvo-princip-raboty-preimushchestva-i-nedostatki/> (дата обращения 12.06.2024)
3. СП.131.13330.2020 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*/ Минстрой России. – М.: Стандартинформ, 2019. – 107 с.
4. СП 131.13330.2018 "Тепловая защита зданий и сооружений" // Минстрой, 2018. – С.12, 90.
5. СП 50.13330.2012 " Тепловая защита зданий " // Минстрой, 2021.
6. СП 60.13330.2020 " Отопление, вентиляция и кондиционирование " // Минстрой , 2020. – С. 16-29, 107-120.
7. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / под ред. проф. Б.М. Хрусталева. – М. : Изд-во АСВ, 2007. – 784 с.
9. "СП 20.13330.2016. Свод правил. Нагрузки и воздействия."
10. nanoCAD BIM Отопление // nanoCAD URL: <https://www.nanocad.ru/products/bim/otoplenie/> (дата обращения: 30.05.2024).
11. Расчет земляного коллектора и вертикального зонда теплового насоса [Электронный ресурс] / «КиберПедия» информационный ресурс. - 2017. - URL: <https://cyberpedia.su/9x144a6.html/> (дата обращения 01.06.2024).
- 12, Каныгин В.А., Цветкова Е.В. ГИДРАВЛИКА Методические указания для решения задач по гидравлике. - Волгоград: ВолгГАСУ, 2013. - 34 с.
13. Свод правил СП 30.13330.2020 «СНИП 2.04.01-85* Внутренний

водопровод и канализация зданий»

14. Использование солнечной энергии в системах теплоснабжения.

Курсовое проектирование: учебно-методическое пособие/ сост: В.А.

Коротинский, В. Ф. Клинцева, А. В. Ожелевский. – Минск: БГАТУ, 2017, -104 с.

15. Научно-прикладной справочник по климату СССР. - 21 вып. -

Ленинград: Гидрометеоиздат, 1990. - 525 с.

16. Парфёнова Л. М. ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ Методические указания к практическим занятиям для студентов. - Новополоцк: 2015

17. Трушкин В.А., Шлюпиков С.В. Эксплуатация альтернативных источников энергии. Методические указания по выполнению практических работ. - Саратов: 2016. - 50 с.

18. Закон Российской Федерации "О внесении изменений в Федеральный закон "Об электроэнергетике" в части развития микрогенерации" от 27.12.2019 № 471-ФЗ // Официальный интернет-портал правовой информации. - 2019 г. - № 0001201912280019

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

институт

Теплотехники и гидрогазодинамики

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой



подпись

В. А. Кулагин

инициалы, фамилия

« 25 » июня 2024 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

код – наименование направления

Разработка мероприятий по снижению затрат на теплоснабжение

тема

индивидуального жилого дома

Руководитель



подпись, дата

доцент, к.т.н

должность, ученая степень

С.П. Сибиряков

инициалы, фамилия

Выпускник



подпись, дата

И.В. Макаренко

инициалы, фамилия

Красноярск 2024