

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

подпись

« _____ » _____ 2023 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

код – наименование направления

Использование нетрадиционных источников энергии для теплоснабжения

тема

Руководитель

подпись, дата

доцент, к.т.н

должность, ученая степень

С.П. Сибиряков

инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

Н.В. Капуцкий

инициалы, фамилия

Красноярск 2023

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Использование нетрадиционных источников энергии для теплоснабжения» содержит 32 страницы текстового документа, 20 иллюстраций, 17 таблиц, 12 использованных источников.

Ключевые слова: Тепловые насосы, теплонасосная станция, геотермальная энергия, отопление.

Объектом исследования является - целесообразность использования теплового насоса для индивидуального отопления в условиях Красноярского края.

Цели исследования:

- теоретические основы по теплонасосным установкам
- анализ данных проектируемого объекта
- расчёт теплопотерь здания
- расчёт теплообменника для внешнего контура ТНУ
- расчёт и подбор оборудования
- определение технико-экономических показателей проекта

В результате исследования был проведён расчёт теплопотерь частного жилого дома площадью 80,7 м², находящемся в деревне Лукино, Красноярского края. Разработана схема расположения отопительных приборов. Сделан выбор основного и вспомогательного оборудования для теплоснабжения. Рассчитаны параметры теплоносителя и внешнего теплообменника ТНУ. Произведён расчёт технико-экономических показателей работы ТНУ.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. Теоретические аспекты использования теплового насоса	7
1.1 Принцип работы теплового насоса	7
1.2 Виды тепловых насосов	9
1.2.1 Тепловые насосы «воздух-воздух»	10
1.2.2. Тепловые насосы «вода-вода»	12
1.2.3. Тепловые насосы «вода-воздух»	14
1.2.4. Тепловые насосы «грунт-вода»	15
1.2.5. Тепловые насосы «лед-вода»	17
1.3. Влияние среды на эффективность работы теплового насоса	18
1.3.1. Температура окружающей среды	18
1.3.2. Влажность воздуха	19
1.3.3. Избыточное давление	20
1.3.4. Состав среды	22
2 Расчёт системы отопления	24
2.1 Описание объекта исследования	24
2.2 Расчёт теплотерь ограждающих конструкций	25
2.2.1 Расчёт ГСОП	25
2.2.2 Расчёт теплозащитных характеристик наружных стен	25
2.2.3 Расчёт теплозащитных характеристик перекрытия	27
2.2.5 Расчет теплозащитных свойств оконных проемов	29
2.2.6 Расчет теплозащитных свойств дверных проемов	30
2.2.7 Термические сопротивления ограждающих конструкций	30
2.2.8 Общие потери теплоты через ограждающие конструкции	30
2.3 Расчет теплоты на нагрев воздуха, поступающего в результате действия естественной вентиляции	32
2.4 Теплопоступления от солнечной радиации через световые проемы	34
2.5 Бытовые теплопоступления	36
2.6 Тепловой баланс помещений	36

2.7	Подбор отопительного оборудования. Насос и радиаторы.....	37
2.7.1	Подбор радиаторов	37
2.7.2	Гидравлический расчет. Подбор насоса.....	41
2.8	Тепловая мощность здания	42
3.	Расчёт и подбор теплового насоса	45
3.1	Выбор теплового насоса.....	45
3.2	Расчёт грунтового коллектора	47
3.2	Расчёт теплоносителя	49
3.3	Выбор дополнительного оборудования.....	52
3.3.1	Выбор бака аккумулятора	52
4.	Экономическое обоснование	56
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	59
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	60

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире, где вопросы экологии и сохранения природных ресурсов становятся все более актуальными, нетрадиционные источники энергии играют важную роль в обеспечении энергетической безопасности и устойчивого развития. В частности, использование нетрадиционных источников энергии для теплоснабжения может значительно сократить зависимость от традиционных источников, таких как газ, нефть и уголь, которые являются источниками выбросов парниковых газов и других вредных веществ.

Оценка эффективности и экономической целесообразности применения нетрадиционных источников энергии для теплоснабжения зависит от многих факторов, таких как климатические условия, доступность и стоимость технологий, местные законодательные и регуляторные требования и многие другие факторы. Однако, несмотря на некоторые ограничения, использование нетрадиционных источников энергии для теплоснабжения может значительно снизить затраты на энергию и сократить негативное воздействие на окружающую среду.

Одним из способов теплоснабжения является использование теплового насоса. Его работа основана на термодинамическом цикле, который включает в себя четыре этапа: компрессия, конденсация, расширение и испарение.

Ведущим преимуществом использования теплового насоса для теплоснабжения является сокращение расходов на топливо или электроэнергию в сравнении с традиционными котлами.

К недостатком относится высокая зависимость от условий среды размещения внешнего теплообменника, поскольку эффективность работы зависит от перепада температур в контуре.

Целью данной ВКР является в разработке системы отопления с использованием теплового насоса для индивидуального жилого дома на 3 человека, расположенного в пригороде города Красноярска, деревне Лукино, Красноярского Края.

Объектом исследования является система теплоснабжения с использованием теплового насоса в частном доме на 3 человека.

Предмет исследования: целесообразность использования теплового насоса в условиях Красноярского края.

Для достижения поставленной цели были выполнены следующие задачи

- теоретические основы по ТНУ
- анализ проектируемого объекта
- нахождение теплопотерь здания
- расчёт теплообменника для внешнего контура ТНУ
- расчёт и подбор оборудования
- определение технико-экономических показателей проекта
- вывод о проделанной работе

Результаты данной работы могут быть использованы при разработке систем отопления индивидуального жилого строительства с использованием теплового насоса в пригороде города Красноярска.

1. Теоретические аспекты использования теплового насоса

1.1 Принцип работы теплового насоса

Последние годы характеризуются повышенным интересом к тепловым насосам в качестве альтернативного источника тепловой энергии, который позволяет получить дешевое тепло без вреда для окружающей среды. Тепловой насос при этом способен обеспечить отопление, охлаждение и ГВС круглый год в жилых, офисных и промышленных помещениях.

Принцип работы теплового насоса основан на способности переносить теплоту от нагретой среды к менее нагретой, повышая температуру последней. Данная технология сходна с работой холодильника, который направляет тепло наружу, одновременно охлаждая внутреннее пространство. В отличие от холодильника, тепловой насос забирает тепло от окружающей среды за пределами помещения и преобразует его в энергию для отопления. Любое тело с температурой выше абсолютного нуля обладает запасом тепловой энергии, которую может переносить тепловой насос. Официально признанный абсолютный ноль – это $-273,15$ градусов по Цельсию, что означает, что запасы тепла на практике являются практически бесконечными.

Конструктивно тепловой насос состоит из двух частей: наружной и внутренней. Наружная часть забирает возобновляемые тепловые источники, такие как воздух, вода и земля, а внутренняя отдает это тепло в систему отопления или кондиционирования помещения. Современные тепловые насосы отличаются высокой энергоэффективностью, что означает, что их использование позволяет снизить стоимость обогрева или охлаждения дома до 75%, что защищает потребителя от затрат на топливо и уменьшает негативное воздействие на окружающую среду.

Таким образом, тепловой насос является высокоэффективным альтернативным источником тепловой энергии, который обеспечивает отопление, охлаждение и ГВС круглый год в домах, офисах и промышленных зданиях. Его использование позволяет значительно снизить затраты на

обеспечение теплом, а также снизить зависимость от традиционных источников энергии, которые имеют серьезные негативные последствия для окружающей среды.

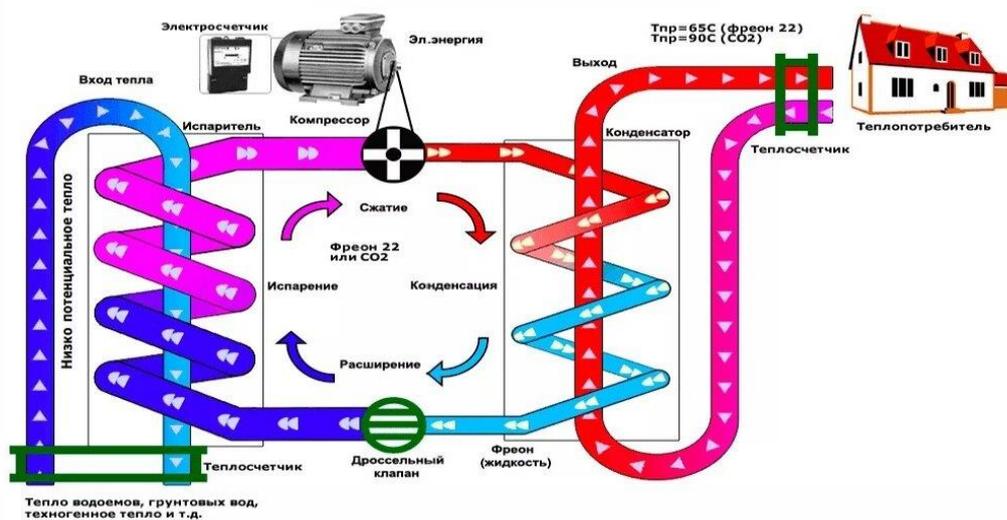


Рисунок 1.1 – принцип работы теплового насоса

Тепловые насосы могут использоваться как отдельно, так и в сочетании с другими системами отопления. Например, их можно соединять с газовыми или электрическими котлами, повышая тем самым их эффективность и уменьшая затраты на топливо.

В настоящее время на рынке присутствуют разнообразные модели тепловых насосов, работающие на различных типах энергии, таких как воздух, грунт или вода. Каждый тип насоса обладает своими преимуществами и недостатками, поэтому для выбора наиболее подходящего варианта необходимо учитывать конкретные условия эксплуатации.

Тепловые насосы также могут служить средством природной вентиляции и обеспечивать воздушный поток, который необходим для поддержания комфортных условий в помещении. Это особенно актуально в жарких летних месяцах, когда в помещении может накапливаться излишняя влажность и температура.

Однако, несмотря на все преимущества тепловых насосов, их установка требует определенных затрат и ограничений по месту установки. Так, например, для установки грунтового теплового насоса потребуется чистая

идеально грунтовая площадка, а для воздушного насоса – наличие существенного количества свободного пространства вокруг здания для установки наружного блока техники.

1.2 Виды тепловых насосов

Тепловые насосы делятся на несколько видов в зависимости от того места где они применяются и для каких целей могут использоваться.

По виду передачи энергии тепловые насосы бывают двух типов:

Компрессионные: Основные элементы установки – это компрессор, конденсатор, расширитель и испаритель. Используется цикл сжатия-расширения теплоносителя с выделением тепла. Этот тип тепловых насосов прост, высокоэффективен и наиболее популярен.

Абсорбционные: Это теплонасосы нового поколения, использующие в качестве рабочего тела пару абсорбент-хладон. Применение абсорбента повышает эффективность работы теплового насоса.

По источнику тепла выделяют тепловые насосы:

Геотермальные: Тепловая энергия берется из грунта или воды.

Воздушные: Тепло извлекается из атмосферы.

Использующие вторичное тепло: В качестве источника тепла используются воздух, вода, канализационные стоки. Подобный вариант является наиболее целесообразным для промышленных объектов, где есть источники паразитной теплоты, которая требует утилизации.

Основное разделение видов тепловых насосов происходит по виду теплоносителя входного/выходного контура.

<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»

Тепловые насосы «воздух-воздух» являются одним из наиболее эффективных способов отопления помещений. Они работают по принципу забора тепла из воздуха, а затем передачи его в отапливаемое помещение. Этот процесс осуществляется за счет цикла хладагента, который забирает тепло из более холодного воздуха и передает его в более теплый воздух.

Тепловые насосы «воздух-воздух» имеют ряд преимуществ перед другими видами отопительных систем. Они не требуют установки дополнительных труб или трубопроводов, что делает их установку и обслуживание более простым и дешевым. Кроме того, они не используют газы

или другие опасные вещества, что делает их экологически чистыми и безопасными для использования.



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

Однако, как и любая другая система отопления, тепловые насосы «воздух-воздух» имеют свои недостатки. Они не могут работать в условиях крайней холодности, когда температура воздуха опускается ниже определенного уровня. Кроме того, они могут быть менее эффективными, если воздух в помещении плохо циркулирует или если в помещении слишком много людей.

В целом, тепловые насосы «воздух-воздух» являются хорошим выбором для отопления помещений, особенно в условиях умеренного климата. Однако перед установкой такой системы необходимо тщательно оценить все ее преимущества и недостатки, чтобы сделать правильный выбор.

Кроме того, при выборе теплового насоса «воздух-воздух» необходимо учитывать размер помещения, которое будет отапливаться. Маленькие насосы могут не справиться с отоплением больших помещений, а слишком мощные насосы могут быть излишними и дорогими в эксплуатации.

Также стоит учитывать, что тепловые насосы «воздух-воздух» могут иметь различные режимы работы, например, охлаждение в летний период. Это может быть полезно для тех, кто живет в жарких климатических условиях.

Наконец, при выборе теплового насоса «воздух-воздух» необходимо обратить внимание на его энергоэффективность и экономическую выгоду. Хотя эти системы могут быть дороже в установке, они могут значительно сэкономить на энергозатратах в будущем.

В целом, тепловые насосы «воздух-воздух» являются привлекательным вариантом для отопления помещений, особенно в умеренных климатических условиях. Однако перед установкой необходимо тщательно оценить все преимущества и недостатки, чтобы выбрать наиболее подходящую систему для своих нужд.

1.2.2. Тепловые насосы «вода-вода»

Тепловые насосы «вода-вода» используют тепло грунтовых вод для отопления и горячего водоснабжения. Эта система работает на основе того же принципа, что и тепловые насосы «воздух-вода», но вместо воздуха используется вода.

Для установки теплового насоса «вода-вода» необходимо иметь доступ к грунтовым водам. Вода из грунта используется как источник тепла, которое передается воде для отопления и горячего водоснабжения. Эта система может быть более эффективной, чем системы «воздух-вода», так как температура грунтовых вод постоянна на протяжении всего года.

Однако, установка теплового насоса «вода-вода» может быть более сложной и дорогой, чем установка системы «воздух-вода». Требуется специальное оборудование для доступа к грунтовым водам и установки трубопроводов.

При выборе теплового насоса «вода-вода» необходимо учитывать размер помещения, которое будет отапливаться, а также потребность в горячей воде.

Более крупные системы могут быть необходимы для отопления больших помещений или для обеспечения горячей водой большого количества людей.

Также стоит обратить внимание на энергоэффективность и экономическую выгоду при выборе теплового насоса «вода-вода». Хотя эти системы могут быть более дорогими в установке, они могут значительно сэкономить на энергозатратах в будущем.

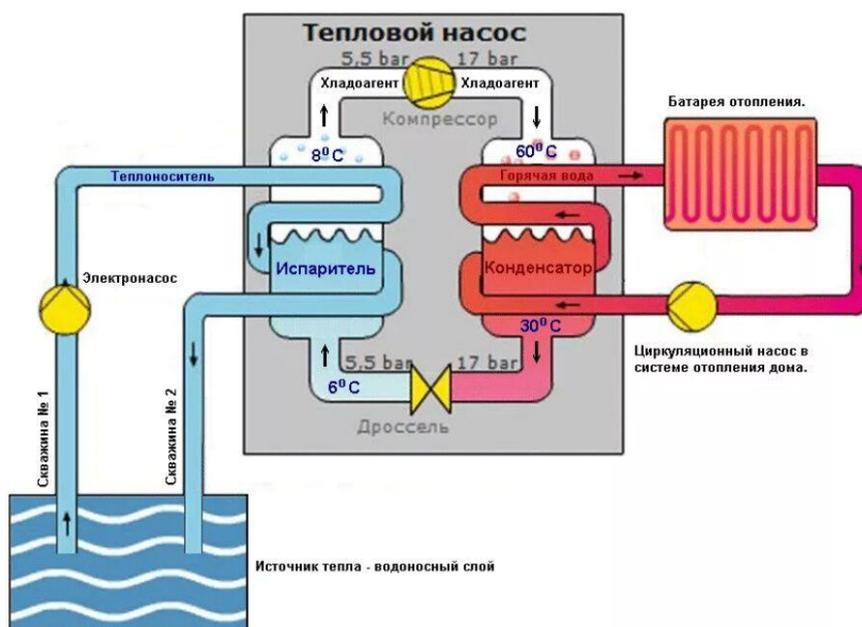


Рисунок 1.4 – принцип работы «вода-вода»

В целом, тепловые насосы «вода-вода» могут быть эффективным и экономичным вариантом для отопления и горячей водоснабжения. Однако перед установкой необходимо тщательно оценить все преимущества и недостатки, чтобы выбрать наиболее подходящую систему для своих нужд.

Кроме того, при выборе теплового насоса «вода-вода» стоит обратить внимание на его надежность и долговечность. Некоторые модели могут иметь более высокую стоимость, но при этом обеспечивать более длительный срок службы и меньшие затраты на ремонт и обслуживание.

Также важно учитывать климатические условия в регионе, где будет использоваться тепловой насос «вода-вода». В холодных регионах может потребоваться более мощный и эффективный насос для обеспечения достаточного уровня тепла.

Наконец, перед установкой теплового насоса «вода-вода» необходимо обратиться к специалистам, чтобы получить консультацию и профессиональную оценку потребностей в системе отопления и горячего водоснабжения. Только так можно выбрать наиболее подходящий вариант и обеспечить эффективное и экономичное использование теплового насоса «вода-вода».

1.2.3. Тепловые насосы «вода-воздух»

Тепловые насосы «вода-воздух» являются еще одним вариантом для обеспечения отопления и горячего водоснабжения в доме. Они используют зонды или скважины для воды и воздушную систему отопления.

При выборе теплового насоса «вода-воздух» также стоит обратить внимание на его мощность и эффективность. Важно учитывать климатические условия в регионе, где будет использоваться насос, чтобы выбрать наиболее подходящую модель.

Кроме того, перед установкой теплового насоса «вода-воздух» необходимо провести тщательный расчет потребностей в системе отопления и горячего водоснабжения, а также обратиться к специалистам для получения профессиональной консультации.

Важно помнить, что правильный выбор и установка теплового насоса являются ключевыми факторами для обеспечения эффективного и экономичного использования системы отопления и горячего водоснабжения в доме.



Рисунок 1.5 – принцип работы «воздух-вода»

Тепловые насосы «вода-воздух» могут быть использованы как для новых строительных проектов, так и для реновации старых зданий. Они могут быть установлены как внутри помещения, так и снаружи.

Одним из главных преимуществ тепловых насосов «вода-воздух» является их экологическая чистота. Они не используют газы или другие вредные вещества, что делает их безопасными для окружающей среды.

Кроме того, тепловые насосы «вода-воздух» могут значительно снизить расходы на отопление и горячее водоснабжение. Они могут работать при температуре до -20 градусов Цельсия и обеспечивать до 4 кВт тепла на каждый кВт электроэнергии, потребляемой насосом.

Однако, как и любая другая система отопления, тепловые насосы «вода-воздух» требуют регулярного обслуживания и проверки. Рекомендуется проводить проверку системы хотя бы раз в год, чтобы убедиться в ее эффективности и безопасности.

В целом, тепловые насосы «вода-воздух» являются отличным вариантом для обеспечения отопления и горячего водоснабжения в доме. Они экологически чисты, экономичны и могут быть установлены как в новых зданиях, так и в старых. Однако перед их установкой необходимо провести тщательный расчет и получить профессиональную консультацию.

1.2.4. Тепловые насосы «грунт-вода»

Тепловые насосы «грунт-вода» работают на основе забора тепла из грунта, что позволяет достичь более высокой эффективности в сравнении с другими типами тепловых насосов. Для установки такой системы необходимо прокладывать трубы под землей на глубине от 1,5 до 2 метров, что требует определенных затрат на работы по подготовке участка.

Однако, тепловые насосы «грунт-вода» могут быть эффективны только в тех регионах, где температура грунта не опускается ниже нуля градусов Цельсия. В холодных климатических условиях может потребоваться дополнительное оборудование для обеспечения стабильной работы системы.

Кроме того, установка теплового насоса «грунт-вода» требует больших затрат на начальную инвестицию, что может быть оправдано только в случае большого здания или комплекса зданий с высокими потребностями в тепле и горячей воде.



Рисунок 1.6 – Принцип размещения теплообменника «грунт-вода»

Однако, при проектировании и установке системы необходимо учитывать возможные негативные воздействия на окружающую среду, такие как

изменение гидрологического режима грунта или возможность загрязнения грунтовых вод.

Также следует помнить о необходимости регулярного технического обслуживания и чистки системы, чтобы обеспечить ее эффективную работу и продлить срок службы.

В целом, тепловые насосы «грунт-вода» могут быть хорошим выбором для объектов с высокими потребностями в тепле и горячей воде, расположенных в регионах с мягким климатом. Однако, перед принятием решения о выборе конкретной системы необходимо провести тщательный анализ индивидуальных потребностей и условий объекта, а также оценить бюджет на установку и эксплуатацию системы.

1.2.5. Тепловые насосы «лед-вода»

Тепловые насосы «лед-вода» являются одним из наиболее эффективных способов использования возобновляемых источников энергии для обеспечения теплоснабжения и горячего водоснабжения. Эта технология основана на использовании тепловой энергии, которая выделяется при замораживании воды.

Для работы системы необходимо иметь специальный резервуар, который заполняется водой и замораживается. Когда вода замерзает, она выделяет тепловую энергию, которая используется для нагрева воды в системе отопления и горячего водоснабжения.

Одним из главных преимуществ тепловых насосов «лед-вода» является их высокая эффективность. Замораживание 100-200 литров воды может обеспечить обогрев среднего дома в течение часа. Также системы на основе тепловых насосов «лед-вода» не выбрасывают вредные вещества в атмосферу и не создают шума.

Однако, при проектировании и установке системы необходимо учитывать ряд особенностей. Например, для работы системы необходимо иметь достаточно большой резервуар для хранения замороженной воды. Также

следует учитывать климатические условия региона, где будет установлена система, так как в холодных регионах замораживание воды может быть затруднительным.

Также стоит учитывать, что тепловые насосы «лед-вода» требуют определенного уровня подготовки и опыта в установке и обслуживании. Поэтому, для тех, кто не имеет достаточного опыта в этой области, рекомендуется обратиться к профессиональным компаниям, которые могут помочь в выборе и установке системы.

Кроме того, при использовании тепловых насосов «лед-вода» следует учитывать экономические аспекты. В зависимости от региона и цен на энергоресурсы, инвестиции в установку и эксплуатацию системы могут быть значительными. Однако, в долгосрочной перспективе, использование возобновляемых источников энергии может оказаться более выгодным и экологически чистым решением.

В целом, тепловые насосы «лед-вода» являются эффективным и экологически чистым способом обеспечения теплоснабжения и горячего водоснабжения. Однако, перед выбором конкретной системы необходимо тщательно проанализировать индивидуальные потребности и условия объекта, а также учитывать экономические аспекты.

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 - это один из главных факторов, который влияет на производительность и работу теплового насоса. Высокая температура среды может увеличить количество тепла, которое может быть добывается из окружающей среды, что приводит к улучшению эффективности

работы теплового насоса. При этом, чем выше температура, тем меньше энергии будет требоваться для работы теплового насоса.

Однако, при низких температурах, в частности ниже -10 градусов Цельсия, производительность теплового насоса может резко снизиться, так как добывание тепла из окружающей среды будет затруднено. При этом, если использовать обычный тип теплового насоса, неспособный работать при низких температурах, это может привести к снижению его эффективности и общей производительности системы отопления .

1.3.2. Влажность воздуха

Влажность воздуха является одним из важных параметров, которые влияют на эффективность работы теплового насоса. Высокая влажность может повысить нагрузку на систему и снизить ее производительность по нескольким причинам.

Во-первых, высокая влажность увеличивает количество водяных паров в воздухе, что затрудняет передачу тепла. Если в воздухе много влаги, то системе труднее извлекать тепло из окружающей среды и снижается эффективность работы теплового насоса. Также, избыток водяных паров может вызывать коррозию металлических компонентов, что приводит к сокращению срока эксплуатации системы отопления.

Во-вторых, высокая влажность может привести к росту плесени и грибков в помещении, что не только негативно влияет на здоровье людей, но также затрудняет процесс обеспечения тепла в квартире или доме. Плесень и грибки могут проникать в систему отопления и портить ее работу.

Кроме того, различные типы тепловых насосов могут иметь различную чувствительность к влажности воздуха. Так, воздушные тепловые насосы часто бывают более чувствительны к влажности, чем грунтовые или водные. При установке тепловой системы в влажных сооружениях, таких как старые здания, возможна необходимость обслуживания системы, чтобы ее защитить от влаги и тем самым, продлить ее жизненный цикл.

Таким образом, важно следить за уровнем влажности в помещении и, если необходимо, установить соответствующие системы осушения воздуха, чтобы уменьшить негативное влияние влажности на эффективность работы теплового насоса и продлить срок его службы.

Также существует несколько способов защиты тепловых насосов от повышенной влажности воздуха. Например, можно установить антикоррозионное покрытие на внутренних частях системы отопления и насосе, что поможет уменьшить риск коррозии. Также можно использовать специальные фильтры, которые очищают воздух от частиц воды и других загрязнений, что повышает эффективность работы системы.

Важно отметить, что влажность воздуха может меняться в разное время года и в зависимости от климатических условий. Поэтому важно регулярно контролировать уровень влажности в помещении и соответствующим образом поддерживать оптимальный уровень для эффективной работы теплового насоса.

Таким образом, влажность воздуха - это важный фактор, который необходимо учитывать при работе тепловых насосов, чтобы обеспечить максимальную эффективность и длительный срок эксплуатации системы отопления. Хорошо спроектированная система отопления с учетом оптимальных показателей влажности воздуха и адекватной защитой от влаги может значительно сэкономить на энергозатратах.

1.3.3. Избыточное давление

Избыточное давление в системе может возникнуть по нескольким причинам. Например, это может быть связано с неправильной настройкой клапанов или слишком мощной насосной установкой. При этом, чрезмерное давление может вызвать повреждения компонентов системы, а также повышенный риск возгорания и взрыва.

Избыточное давление может стать причиной утечек газа, что является серьезной проблемой для безопасности. Утечки газа могут возникнуть в местах,

где давление в системе превышает допустимое значение. Кроме того, при слишком высоком давлении в системе может происходить постоянное изнашивание и негативное воздействие на трубопроводы, клапаны и другие компоненты системы, что сокращает срок их эксплуатации.

Для того чтобы избежать избыточного давления в системе, необходимо регулярно производить ее обслуживание и контролировать давление в системе. При этом, если давление выше допустимого, необходимо принимать меры по его снижению, например, путем настройки клапанов или замены насосной установки. Регулярное обслуживание и контроль позволят сохранить эффективность работы системы и снизить риск ее поломки и повреждений.

Кроме того, следует учитывать, что избыточное давление в системе может влиять на ее эффективность. Слишком низкое давление может снизить скорость циркуляции теплоносителя, что приведет к снижению эффективности работы теплового насоса и повышенному расходу энергии. С другой стороны, слишком высокое давление может повысить производительность системы, но это также может привести к повреждению ее компонентов.

Для того чтобы обеспечить оптимальное давление в системе, необходимо учитывать не только требования безопасности и надежности работы, но и оптимальную эффективность работы теплового насоса. Для этого необходимо определить оптимальные значения давления и регулярно контролировать их настройку.

В целом, избыточное давление в системе является серьезной проблемой, которая может привести к повреждению и поломке компонентов системы, утечке газа и повышенному риску возгорания и взрыва. Поэтому необходимо регулярно контролировать давление в системе, производить ее обслуживание и настройку, а также учитывать оптимальную эффективность работы теплового насоса.

1.3.4. Состав среды

Состав среды - это еще один фактор, который может существенно влиять на производительность системы с тепловым насосом. Среда может включать в себя не только воздух, но и воду, антифризы, масла и другие смазочные вещества.

Наличие мелких частиц и загрязнений в воздухе, попадающих внутрь системы, может забивать вентиляционные отверстия и уменьшать производительность системы. Это может приводить к поломке теплового насоса, повреждению компрессоров и других компонентов.

Если речь идет о воде, то ее состав также может оказывать негативное воздействие на работу системы. Например, содержание в воде минералов и железа может привести к образованию накипи в трубах и в других компонентах системы, что уменьшает эффективность работы теплового насоса и приводит к его поломке.

Кроме того, состав среды может вызвать коррозию и деградацию компонентов системы. Например, антифризы и масла могут ускорить процесс окисления внутренних поверхностей системы, что приведет к повреждению трубопроводов и других компонентов.

Поэтому важно выбирать наиболее подходящую среду для работы теплового насоса, чтобы обеспечить максимальную производительность и долговечность работы системы. Наиболее подходящий состав среды необходимо выбирать с учетом эксплуатационной среды места установки теплового насоса, а также требований качества воздуха и воды в этой зоне.

Кроме того, для улучшения производительности и долговечности работы системы с тепловым насосом рекомендуется регулярно производить контроль и очистку от загрязнений. Для очистки воздуха в системе можно использовать фильтры, которые помогут задержать мелкие частицы и загрязнения.

Если речь идет о воде, необходимо регулярно очищать трубопроводы и компоненты системы от возможного образования накипи. Для этого можно

использовать специальные химические растворы и обслуживать систему в соответствии с требованиями производителя.

Также важно учитывать требования к составу смазочных веществ и антифризов, используемых в системе с тепловым насосом. Некоторые смазочные вещества могут быть несовместимы с определенными материалами компонентов системы, что может привести к деградации их свойств и этим привести к снижению эффективности работы.

В целом, состав среды, используемой в системе с тепловым насосом, является одним из ключевых факторов, которые могут влиять на ее производительность и долговечность. Правильный выбор и регулярный контроль и очистка от загрязнений позволят обеспечить максимальную эффективность работы системы на долгие годы.

2 Расчёт системы отопления

2.1 Описание объекта исследования

Объектом проектирования является частный жилой дом на 3 человека, расположенный в деревне Лукино, Красноярского края (55.93° 93.101°).

Лукино находится на Юге Красноярского края, на правом берегу реки Енисей, в 24 км от краевого центра – города Красноярска. Климат в Лукино континентальный. На лето приходится большее количество осадков, чем зимой. Так же из-за того что зимой опускается до низких значений и сопровождается сильными холодными ветрами, глубина промерзания грунта в среднем достигает значений в 1,9м.

Частный дом площадью 80,7 м² имеет 1 этаж, крыльцо. 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

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

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}}, \quad (1.1)$$

где $t_{\text{от}}$, $z_{\text{от}}$ – средняя температура наружного воздуха °С, и продолжительность, сут/год, отопительного периода для жилого здания.

$$\text{ГСОП} = (20 - (-10,7)) \cdot 234 = 7275,9 \text{ (}^\circ\text{C} \cdot \text{сут)}.$$

2.2.2 Расчёт теплозащитных характеристик наружных стен

Жилой дом имеет следующую конфигурацию наружных стен:

- газоблок $\delta_1 = 0,375 \text{ м}$
- утеплитель Rockwool $\delta_2 = x \text{ м}$ (данный параметр вычисляется ниже)
- кладка из сплошного глиняного кирпича $\delta_3 = 0,25 \text{ м}$
- штукатурка (цемент песчаный раствор) $\delta_4 = 0,25 \text{ м}$

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

$$R_{req} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (1.2)$$

где a, b —коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы 4 (СНиП23–02–2003).

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

$$R_{req} = 0,00035 \cdot 7275,9 + 1,5 = 4,046 \left(\frac{\text{м}^2\text{°C}}{\text{Вт}} \right).$$

Термическое сопротивление можно представить в следующем виде[5]:

$$R_{req} = \frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_y}{\lambda_y} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_{вн}}, \quad (1.3)$$

где α_n —коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения для условий холодного периода ($23 \text{ Вт/м}^2\text{К}$);

$\alpha_{вн}$ —коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

δ_i — толщина стенки, м;

λ_i — коэффициент теплопроводности стенки, $\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$.

Для удобства расчета сведем все данные в таблицу:

Таблица 1.1 - Строительные материалы стен

Номер Слая	Материал	Толщина, м	Теплопроводности, Вт/м2 К
1	газоблок	0,375	0,22
2	утеплитель Rockwool	δ_y	0,042
3	кладка из сплошного глиняного кирпича	0,25	0,81
4	штукатурка	0,02	0,93

$$R_{req} = \frac{1}{23} + \frac{0,375}{0,22} + \frac{\delta_y}{0,042} + \frac{0,25}{0,81} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{1}{8,7}, \quad (1.4)$$

Откуда получаем $\delta_y = 0,105 \text{ м}$.

Действительное значение сопротивления составляет:

$$R_{req} = 2,1925 + \frac{\delta_y}{0,042} = 4,69 \left(\frac{\text{м}^2\text{°C}}{\text{Вт}} \right),$$

Коэффициент теплопередачи определяем по следующей формуле:

$$k = \frac{1}{R} = \frac{1}{4,69} = 0,213 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}} \right).$$

2.2.3 Расчёт теплозащитных характеристик перекрытия

Чердачное 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» $\delta_6 = 0,002$ м
- слой гидроизоляции «Изоспан АS» $\delta_7 = 0,002$ м
- стропила $\delta_8 = 0,20$ м
- теплоизоляция $\delta_y = x$ м

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

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

Рассчитаем требуемое сопротивление:

$$R_{req} = 0,0005 \cdot 7539,6 + 2,2 = 5,837 \left(\frac{\text{м}^2\text{°C}}{\text{Вт}} \right),$$

Термическое сопротивление записываем в следующем виде:

$$R_{req} = \frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{\delta_6}{\lambda_6} + \frac{\delta_7}{\lambda_7} + \frac{\delta_y}{\lambda_y} + \frac{1}{\alpha_b}, \quad (1.5)$$

где α_n – коэффициент теплоотдачи внешней поверхности ограждения для условий холодного периода (23 Вт/м²К);

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

δ_i – толщина стенки, м;

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

Для удобства расчета сведем все данные в таблицу:

Таблица 1.2 - Строительные материалы кровли

Номер слоя	Материал	Теплопроводность, Вт/м ² К	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
6	Слой пароизоляции «Изоспан В»	0,17	0,002
7	Слой гидроизоляции «Изоспан АS»	0,22	0,002
8	Стропила	0,23	0,20
9	Теплоизоляция	0,0042	δ_y

$$R_{req} = \frac{1}{23} + \frac{0,032}{\lambda_2} + \frac{0,05}{\lambda_3} + \frac{0,03}{\lambda_4} + \frac{0,012}{\lambda_5} + \frac{0,002}{\lambda_6} + \frac{0,002}{\lambda_7} + \frac{0,20}{0,23} + \frac{\delta_y}{0,0042} + \frac{1}{8,7}, \quad (1.6)$$

Из уравнения находим $\delta_y = 0,18$ м.

Фактическое значение термического сопротивления:

$$R_{req} = 5,155 + \frac{0,18}{0,0042} = 6,05 \left(\frac{\text{м}^2\text{°C}}{\text{Вт}} \right),$$

Найдем коэффициент теплопередачи через перекрытие:

$$k = \frac{1}{R_{req}} = \frac{1}{6,05} = 0,165 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}} \right).$$

2.2.4 Расчёт теплозащитных характеристик пола

Пол здания состоит из следующих слоев:

- монолитная плита $\delta_1 = 0,3$ м
- засыпка керамзитом $\delta_2 = 0,45$ м
- пенополистирол $\delta_3 = 0,1$ 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:

$$R_{req} = \frac{1}{\alpha_{н}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{\delta_6}{\lambda_6} + \frac{1}{\alpha_{в}}, \quad (1.7)$$

$$R_{req} = \frac{1}{23} + \frac{0,3}{2,04} + \frac{0,45}{0,14} + \frac{0,1}{0,05} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,1}{0,52} + \frac{0,01}{1,45} + \frac{1}{8,7} = 5,33 \left(\frac{M^2 \cdot ^\circ C}{Bt} \right),$$

где $\alpha_{н}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения для условий холодного периода (23 Вт/м²К);

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

δ_i – толщина стенки, м;

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

Для удобства расчета сведем все данные в таблицу:

Таблица 1.3 - Строительные материалы пола

Слой	Название	Теплопроводность, Вт/м ² К	Толщина, м
1	Монолитная плита	2,04	0,3
2	Засыпка керамзитом	0,14	0,45
3	Пенополистирол	0,05	0,1
4	Стяжка из цементно-песчаного раствора	0,93	0,02
5	Подстилающий слой бетона	0,52	0,1
6	Керамическая плита	1,45	0,01

Найдем коэффициент теплопередачи через пол:

$$k = \frac{1}{R_{req}} = \frac{1}{5,33} = 0,187 \left(\frac{Bt}{M^2 \cdot ^\circ C} \right).$$

2.2.5 Расчет теплозащитных свойств оконных проемов

В данном проекте используются пластиковые двухкамерные стеклопакеты, а также одна пластиковая дверь.

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

$$- a = 0,00005;$$

$$- b = 0,2;$$

Рассчитаем требуемое сопротивление:

$$R_{req} = 0,00005 \cdot 7275,9 + 0,2 = 0,56 \left(\frac{\text{М}^2\text{°С}}{\text{Вт}} \right),$$

Найдем коэффициент теплопередачи через оконные проемы:

$$k = \frac{1}{R_{req}} = \frac{1}{0,54} = 1,53 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{М}^2\text{°С}} \right),$$

2.2.6 Расчет теплозащитных свойств дверных проемов

Рассчитаем требуемое термическое сопротивление дверных проемов[5]:

$$R_{req} = \frac{n \cdot (t_b - t_p)}{\Delta t_n \cdot a_{вн}}, \quad (1.8)$$

где t_p – средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 (-39 °С). Найдем термическое сопротивление:

$$R_0 = \frac{1 \cdot (20 - (-59))}{4 \cdot 8,7} = 1,69 \left(\frac{\text{М}^2\text{°С}}{\text{Вт}} \right),$$

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

$$R_{req} = 0,6 \cdot R_0 = 0,6 \cdot 1,69 = 1,017 \left(\frac{\text{М}^2\text{°С}}{\text{Вт}} \right),$$

Коэффициент теплопередачи через дверные проемы определим по формуле:

$$k = \frac{1}{R_{req}} = \frac{1}{1,017} = 0,983 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{М}^2\text{°С}} \right).$$

2.2.7 Термические сопротивления ограждающих конструкций

Сведем полученные значения термических сопротивлений в таблицу:

Таблица 1.4 - Значения термических сопротивлений и коэффициентов теплопередачи

Ограждение	$R, \frac{\text{М}^2\text{°С}}{\text{Вт}}$	$k, \frac{\text{Вт}}{\text{М}^2\text{°С}}$
Наружная стена	4,69	0,213
Чердачное перекрытие	6,05	0,165
Перекрытие над неотапливаемым подвалом	5,33	0,187
окна	0,54	1,53
двери	1,017	0,983

2.2.8 Общие потери теплоты через ограждающие конструкции

Общие потери теплоты (таб. 1.5) через наружные ограждения определяют

суммированием теплопотерь через отдельные ограждающие конструкции с точностью по формуле[5]:

$$Q_0 = k \cdot F \cdot (t_{int} - t_{exp}), \quad (1.9)$$

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

t_{int} – расчетная температура внутри помещения, °С;

t_{exp} – расчетная температура наружного воздуха, °С.

Таблица 1.5 - Теплопотери через ограждающие конструкции

Перекрытие	$\Delta t, \text{°C}$	F, м ²	$k, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}}$	Q ₀ , Вт	Общие потери, Вт
Котельная					
Наружная стена	55	4,5	0,213	220,71	765,69
Чердачное перекрытие	55	5,6	0,165	150,82	
Двери	55	0	0,983	0	
Окна	55	0,48	1,53	210,39	
Пол	8	5,6	0,187	183,776	
Спальня 1					
Наружная стена	57	17,9	0,213	617,32	1795,6
Чердачное перекрытие	57	12,1	0,165	530,8	
Двери	57	0	0,983	0	
Окна	57	1,92	1,53	467,44	
Пол	8	12,1	0,187	380,1	
Спальня 2					
Наружная стена	57	13,91	0,213	680,88	1656,47
Чердачное перекрытие	57	11,4	0,165	570,21	
Двери	57	0	0,983	0	
Окна	57	3,84	1,53	534,88	
Пол	8	11,4	0,187	170,5	
С/У					
Наружная стена	9	5,02	0,213	296,23	743,2
Чердачное перекрытие	59	4,2	0,165	140,88	
Двери	59	0	0,983	0	
Окна	59	0,48	1,53	143,32	
Пол	8	4,2	0,187	162,83	

Продолжение таблицы 1.5

Перекрытие	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	F, м ²	$k, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{C}}$	Q ₀ , Вт	Общие потери, Вт
Кухня-столовая					
Наружная стена	57	17,9	0,213	617,3	1795,64
Чердачное перекрытие	57	12,1	0,165	530,8	
Двери	57	0	0,983	0	
Окна	57	1,92	1,53	467,44	
Пол	8	12,1	0,187	180,1	
Прихожая					
Наружная стена	57	0	0,213	0	51,23
Чердачное перекрытие	57	4,7	0,165	44,2035	
Двери	57	0	0,983	0	
Окна	57	0	1,53	0	
Пол	8	4,7	0,187	7,0312	
Гостиная					
Наружная стена	57	18,73	0,213	670,4	2044,54
Чердачное перекрытие	57	20	0,165	580,1	
Двери	57	2,1	0,983	117,66	
Окна	57	4,42	1,53	485,46	
Пол	8	20	0,187	390,92	
Тамбур					
Наружная стена	57	3,4	0,213	41,27	263,69
Чердачное перекрытие	57	4,3	0,165	40,44	
Двери	57	2,1	0,983	117,66	
Окна	57	0	1,53	0	
Пол	8	4,3	0,187	64,32	

Общие теплотери через ограждающие поверхности составляют 9116,19 Вт.

2.3 Расчет теплоты на нагрев воздуха, поступающего в результате действия естественной вентиляции

Удельную вентиляционную характеристику определяют по следующей формуле:

$$k_{\text{вент}} = 0,28c(L_{\text{вент}}\rho_{\text{в}}^{\text{вент}}n_{\text{вент}}(1 -) + G_{\text{инф}}n_{\text{инф}})/(168V_{\text{от}}), \quad (1.10)$$

где c — удельная теплоемкость воздуха, $(1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}^\circ\text{C}})$;

$L_{\text{вент}}$ – количество приточного воздуха в здание, м³/ч;

$n_{\text{вент}}$ – число часов работы механической вентиляции в течение недели;

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

$n_{\text{инф}}$ – число часов учета инфильтрации в течение недели;

$V_{\text{от}}$ – отапливаемый объем здания, равный объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений зданий, м³;

$k_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности рекуператора.

Количество инфильтрующегося воздуха определяют по следующей формуле:

$$G_{\text{инф}} = \left(\frac{A_{\text{ок}}}{R_{\text{и,ок}}^{\text{тр}}} \right) \left(\frac{\Delta p_{\text{ок}}}{10} \right)^{2/3} + \left(\frac{A_{\text{дв}}}{R_{\text{и,дв}}^{\text{тр}}} \right) \left(\frac{\Delta p_{\text{дв}}}{10} \right)^{1/2}, \quad (1.11)$$

где $A_{\text{ок}}, A_{\text{дв}}$ – суммарная площадь окон, балконных дверей и входных наружных дверей (м²);

$\Delta p_{\text{ок}}, \Delta p_{\text{дв}}$ – расчетная разность давлений наружного и внутреннего воздуха (м·ч)/кг);

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

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

$$R_{\text{и},i}^{\text{тр}} = \frac{1}{G^{\text{н}}} \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_0} \right)^{2/3}, \quad (1.12)$$

где $G^{\text{н}}$ – нормируемая воздухопроницаемость ограждающей конструкции (кг/(м²·ч));

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

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

$$\Delta p = 0,55 H(y_{\text{ext}} - y_{\text{int}}) + 0,03 y_{\text{ext}} \times v^2, \quad (1.13)$$

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:

$$y = \frac{3463}{273 + t}, \quad (1.14)$$

где t – температура внутреннего воздуха, °С;

v – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16 % и более, м/с.

Потери для каждой комнаты высчитываются по формуле:

$$Q_{\text{вент}}^i = k_{\text{вент}} V_{\text{от}}^i (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}), \quad (1.15)$$

где t – температура внутреннего воздуха, °С;

$V_{\text{от}}^i$ – объем отапливаемого помещения, м³;

$t_{\text{н}}$ – температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, °С.

Сведем полученные теплотери в таблицу:

Таблица 1.6 - Вентиляционные потери

Номер помещения	Номер помещения	$K_{\text{вент}}$	$V_{\text{от}}^i, \text{м}^3$	$Q_{\text{вент}}, \text{Вт}$
1	Кухня-столовая	0,206	30,25	355,19
2	Котельная	0,206	14	164,38
4	Спальня 1	0,206	30,25	355,19
5	Спальня 2	0,206	28,5	334,64
6	С/У	0,206	10,5	123,29
7	Гостиная	0,206	50	587,1
8	Тамбур	0,206	10,75	126,22
9	Прихожая	0,206	11,75	137,96

Общие теплотери через ограждающие поверхности составляют 2184,01 Вт.

2.4 Теплопоступления от солнечной радиации через световые проемы

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

$$Q_{\text{рад}} = 11,6 \cdot Q_{\text{рад}}^{\text{оп}}, \quad (1.15)$$

где $Q_{\text{рад}}^{\text{оп}}$ – суммарные теплопоступления через окна, расположенные на фасадах, ориентированных по направлениям j , и фонари от солнечной радиации

в течении отопительного периода:

$$Q_{\text{рад}}^{\text{оп}} = \sum_j^J \left[l_j^{\text{вер}} \cdot \sum_{l=1}^L g_{jl} \cdot \tau_{2jl} \cdot A_{jl} \right] + l^{\text{гор}} \cdot \sum_{y=1}^Y g_{\text{фон}} \cdot \tau_{2\text{фон}} \cdot A_{\text{фон}}, \quad (1.16)$$

где $l_j^{\text{вер}}$ - суммарная солнечная радиация на вертикальную поверхность на широте 56, МДж/год·м², принимается из п.9.1, СП 131.13330.2020 «Строительная климатология». Она равна 57, 100, 358 для северной стороны, восточной/западной и южной, соответственно.

$l^{\text{гор}}$ - суммарная радиация за отопительный период для горизонтальной поверхности, МДж/год·м². принимается из п.8.1, СП 131.13330.2020 «Строительная климатология», равна 121.

$A_{jl}, A_{\text{фон}}$ – площадь окон, ориентированных по направлению j и зенитных фонарей, соответственно, м².

$g_{jl}, g_{\text{фон}}$ – коэффициенты общего пропускания солнечной энергии для окон, ориентированных по направлению j , и зенитных фонарей, соответственно, определяются по приложению Б, СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные».

$\tau_{2jl}, \tau_{2\text{фон}}$ – коэффициенты, учитывающие затенение светового проема окон и зенитных фонарей, непрозрачными элементами заполнения. Рассчитываем согласно п10.3, СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные».

Полученные данные сведем в таблицу:

Таблица 1.7 - Теплопоступления от солнечного излучения

Номер помещения	Название помещения	Q ₀ , МДж/год	Q ₀ , Вт	Q рад, Вт
1	Кухня-столовая	357,88	11,34	131,64
2	Котельная	95,79	3,037	35,23
3	Спальня 1	575,65	18,25	211,74
4	Спальня 2	1151,32	36,51	423,49
5	С/У	95,79	3,037	35,23
6	Гостиная	1143,64	36,26	420,67
7	Тамбур	0,00	0,00	0,00
8	Прихожая	0,00	0,00	0,00

Общие теплопоступления от солнечной радиации составляют 1258,03 Вт.

2.5 Бытовые теплопоступления

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

$$Q_{\text{быт}} = q_{\text{быт}} A_{\text{ж}} \quad (1.17)$$

где $q_{\text{быт}}$ – величина бытовых тепловыделений на 1 м² площади; для общественных и административных зданий бытовые тепловыделения учитываются по расчетному числу людей (90 Вт/чел.), находящихся в здании, 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-столовая	12,1	650,15
2	Котельная	5,6	56
3	Спальня 1	12,1	121
4	Спальня 2	11,4	114
5	С/У	4,2	42
6	Гостиная	20	200
7	Тамбур	4,3	43
8	Прихожая	4,7	47

Общие теплопоступления от солнечной радиации составляют 1273,15 Вт.

2.6 Тепловой баланс помещений

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

$$Q_{\text{бал}} = Q_o + Q_{\text{вен}} - Q_{\text{рад}} - Q_{\text{быт}} \quad (1.18)$$

Таблица 1.9 - Суммарные теплопотери и теплопоступления

Номер помещения	Название помещения	Q _о , Вт	Q _{вент} , Вт	Q _{быт} , Вт	Q _{рад} , Вт	Q _{бал} , Вт
1	Кухня-столовая	1495,64	355,19	650,15	131,643	1069,04
2	Котельная	795,69	164,38	56	35,2358	868,834
3	Спальня 1	1295,6	355,19	121	211,749	1118,04
4	Спальня 2	1156,47	334,64	114	423,497	1053,61
5	С/У	743,26	123,29	42	135,2358	689,314
6	Гостиная	1744,54	587,1	200	420,67	1710,97
7	Тамбур	263,69	126,22	43	0	346,91
8	Прихожая	51,23	137,96	47	0	142,19
Суммарная теплота		7416,19	2184,01	1273,15	1258,03	7098,91

2.7 Подбор отопительного оборудования. Насос и радиаторы

2.7.1 Подбор радиаторов

Для нашего частного дома выберем радиаторы модели Ventil Compact FCV 11 различной длины и одинаковой высоты. На следующей таблице отображены характеристики выбранных радиаторов:

Таблица 2.1 - Характеристика радиаторов Ventil Compact FCV 11

Название радиатора	Габариты (длина x высота), м	Мощность, Вт
Ventil Compact FCV 11	400 x 300	564
Ventil Compact FCV 11	500 x 300	706
Ventil Compact FCV 11	600 x 300	867
Ventil Compact FCV 11	700 x 300	987
Ventil Compact FCV 11	800 x 300	1180

Модель Evra Plan Ventil Compact FCV 11 – это панельные радиаторы с гладкой передней панелью, конвекционными пластинами, боковыми панелями, верхней решеткой. Корпуса данных радиаторов имеют лакокрасочное термически обработанное покрытие, благодаря которому радиаторы не подвергаются коррозионным воздействиям.

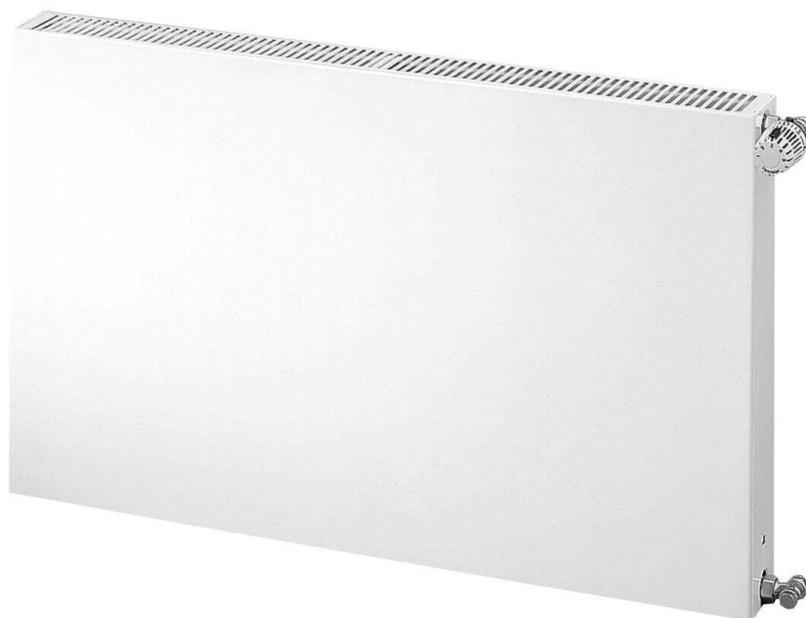


Рисунок 2.3 - Радиатор Ventil Compact FCV 11

В следующей таблице представлены данные о количестве радиаторов в каждом помещении:

Таблица 2.2 - Радиаторы и их размещение по комнатам

Номер помещения	Название помещения	Габариты радиатора, м	Количество, шт	Общая мощность, Вт
1	Кухня-столовая	800 x 300	1	1180
2	Котельная	600 x 300	1	867
3	Спальня 1	800 x 300	1	1180
4	Спальня 2	400 x 300	2	1208
5	С/У	500 x 300	1	706
6	Гостиная	500 x 300; 700 x 300	1;1	1693
7	Тамбур	400 x 300*	1	564

* Такое количество радиаторов рассчитано на прихожую и тамбур.

Важной особенностью является местоположение радиатора. Преимущественно они устанавливаются под окнами. Делается это для того, чтобы нагреть холодный воздух, исходящий из окон. Таким образом устраняется проблема холодного пола.

Ниже приведены рисунки расстановки радиаторов (рис 2.4) и аксонометрическая схема (рис 2.5):

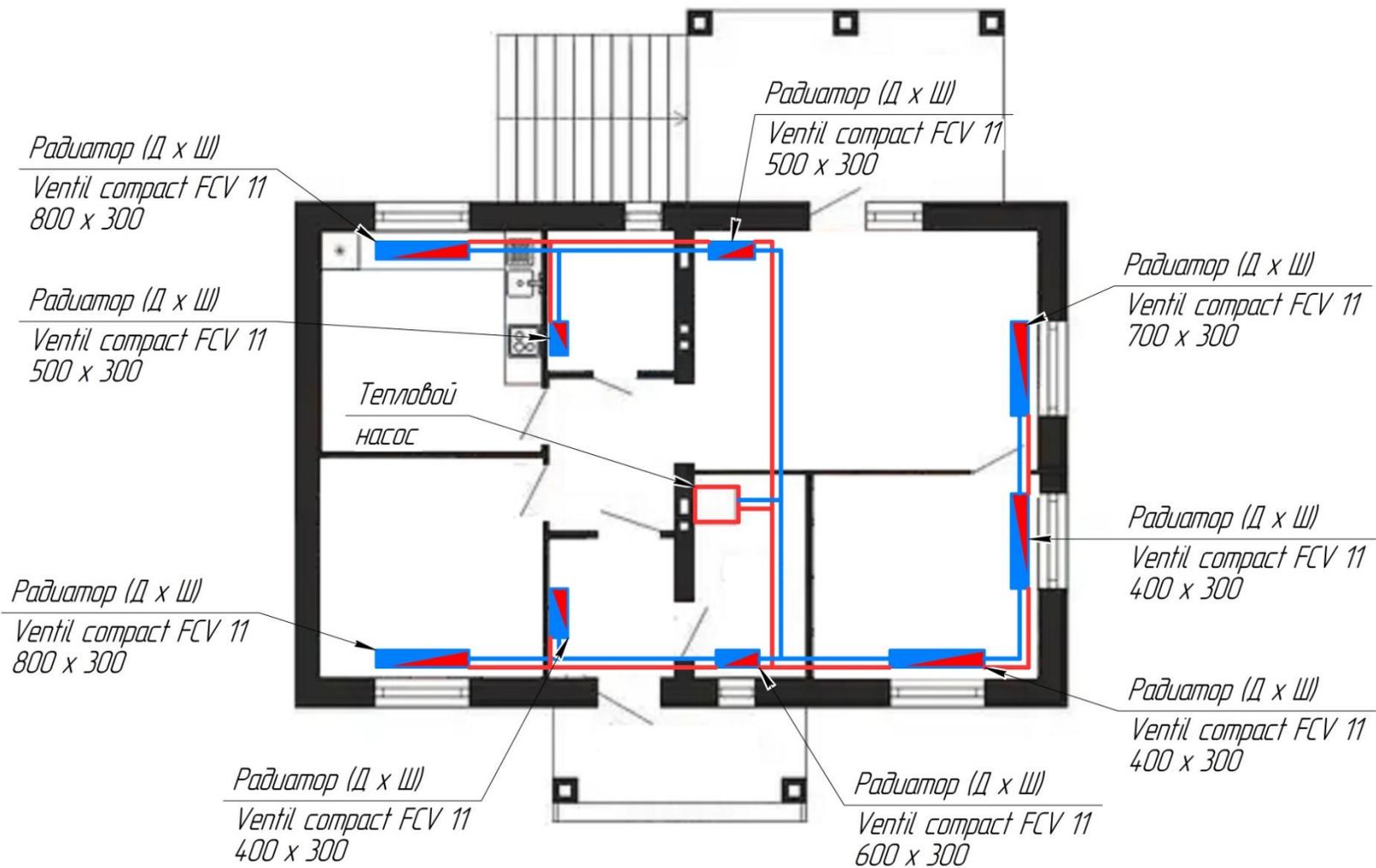


Рисунок 2.4 - Размещение радиаторов в доме

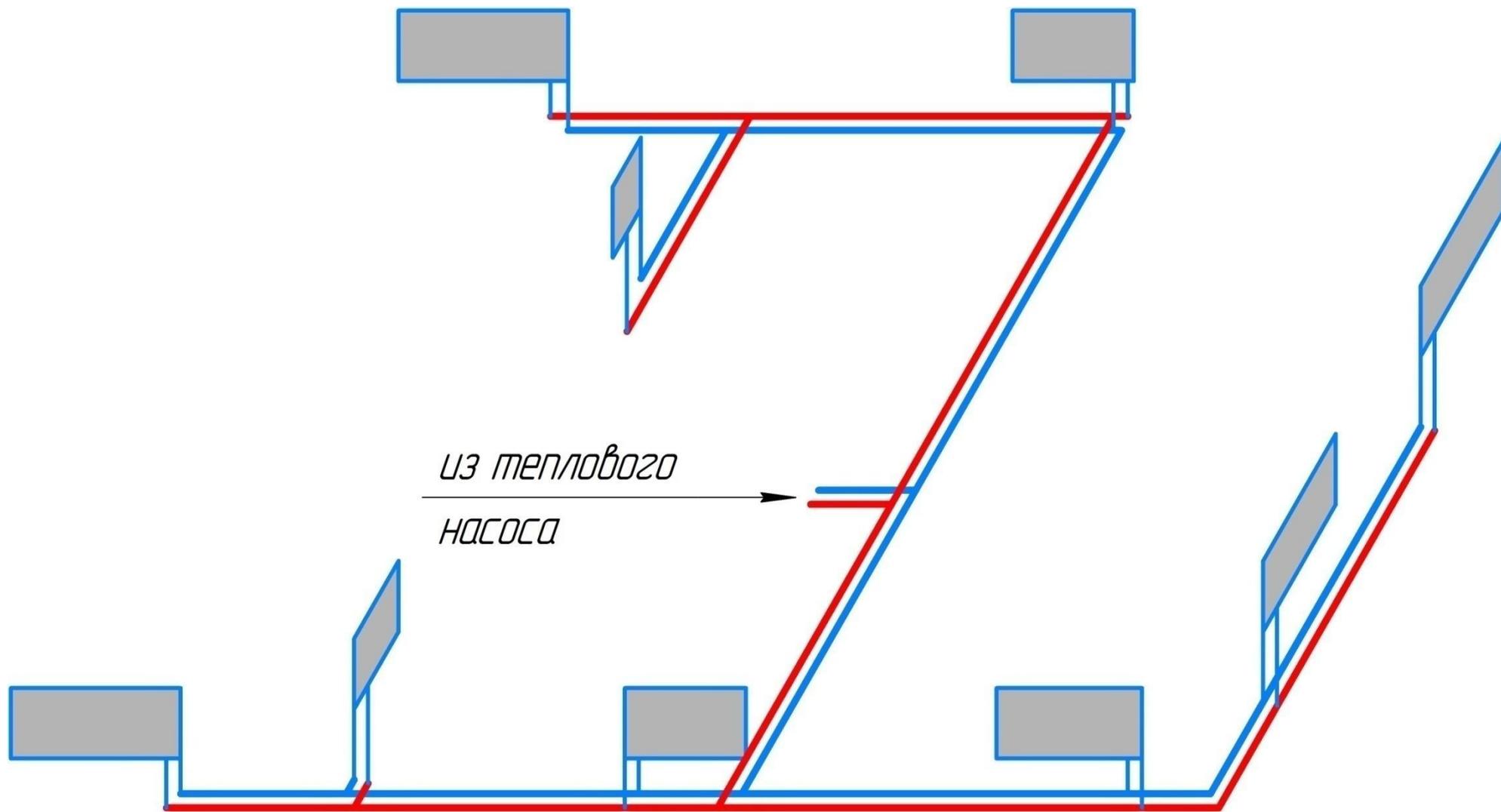


Рисунок 2.5 - Аксонометрическая схема расстановки радиаторов

2.7.2 Гидравлический расчет. Подбор насоса

Цель гидравлического расчета - подбор диаметров ее участков системы таким образом, чтобы располагаемого давления было достаточно для преодоления сил сопротивления.

Расход теплоносителя в системе, ветви или стояке определяется по формуле:

$$G = \frac{3.6 \cdot \sum Q}{(t_{\text{под}} - t_{\text{обр}})}, \text{ кг/ч}, \quad (2.1)$$

Потери давления на трение и местные сопротивления на участке определяют по формуле:

$$\Delta P = \left(\frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} \right) \cdot l_{\text{уч}} + \sum \zeta_{\text{уч}} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2}, \text{ Па}, \quad (2.2)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения:

ρ – плотность воды, кг/м³;

ω – скорость воды, м/с;

ζ – коэффициент местного сопротивления;

d – внутренний диаметр трубопровода, м;

$l_{\text{уч}}$ – длина участка;

Δ - коэффициент шероховатости;

Re – число Рейнольдса.

Коэффициент гидравлического трения определяется по следующей формуле:

$$\lambda = 0.11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{64}{Re} \right)^{0.25} \quad (2.3)$$

Таблица 2.3 - Гидравлический расчет системы отопления

Участок	Линейные сопр.	Мест. сопр.	Длина трубы, м	Расход, м ³ /ч	Суммарные потери, Па
1	4,59	2,4	2,61	0,036	16,79
2	11,81	3,4	3,64	0,072	93,89
3	12,25	2,4	1	0,126	97,94
4	18,37	2,9	5,32	0,162	651,05
5	4,81	2,4	1,39	0,198	306,32
6	7,00	2,4	1,61	0,243	516,06
7	7,00	3,6	3,35	0,288	1414,25

Суммарные потери давления составляют 3,1 кПа.

Расход найдем по следующей формуле:

$$Q_{\text{пот}} = \frac{Q_{\text{отопление}}}{25 \cdot 4190 \cdot 1000} * 3600 = 0,3 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}},$$

Подберем насос нужных нам параметров. Таким насосом является TR 32-30/4 A-F-A-BQQE-AX3 с КПД 36,6 %:



Рисунок 2.6 – Насос TR 32-30/4 A-F-A-BQQE-AX3

2.8 Тепловая мощность здания

Тепловая мощность системы отопления – максимальное количество теплоты, на которое рассчитана система отопления для передачи в здание или сооружение в единицу времени при температуре наружного воздуха, принятой для проектирования отопления в данной местности. Единица измерения – Вт (кВт).

Система отопления предназначена для создания в помещениях здания температурной обстановки, соответствующей комфортной для человека или отвечающей требованиям технологического процесса.

Температурная обстановка в помещении зависит от тепловой мощности

системы отопления, а также от расположения обогревающих устройств, теплофизических свойств наружных и внутренних ограждений, интенсивности других источников поступления и потерь теплоты.

В холодное время года помещение в основном теряет теплоту через наружные ограждения и, в какой-то мере, через внутренние ограждения, отделяющие данное помещение от смежных, имеющих более низкую температуру воздуха. Кроме того, теплота расходуется на нагревание наружного воздуха, который проникает в помещение через неплотности ограждений естественным путем или в процессе работы системы вентиляции, а также материалов, транспортных средств, изделий, одежды, которые холодными попадают в помещение снаружи.

Найдем суточное значение балансовой мощности здания:

$$Q_{\text{бал}}^{\text{сут}} = \frac{3600 \cdot 24 \cdot Q_{\text{бал}}}{10^6}, \quad (3.1)$$

$$Q_{\text{бал}}^{\text{сут}} = \frac{3600 \cdot 24 \cdot 7098,91}{10^6} = 613,34 \frac{\text{МДж}}{\text{день}},$$

Выбираем месяцы, средняя температура которых $\leq 8^\circ\text{C}$. Для четвертого месяца находим количество дней, в которых отопление будет производиться по зимней нагрузке:

$$n_{\text{IV}} = n_{\text{мес}} - 0,5(n_{\text{сум}} - n_{\text{от}}), \quad (3.2)$$

где $n_{\text{сум}}$ – количество отопительных суток при $\leq 8^\circ\text{C}$.

$n_{\text{от}}$ – количество отопительных суток при $\leq 10^\circ\text{C}$.

$$n_{\text{IV}} = 30 - 0,5(257 - 244) = 31 - 6,5 = 24,$$

Соответственно, количество летних дней будет составлять:

$$30 - 24 = 6,$$

Такие же расчеты проведем и для десятого месяца: $n_{\text{IV}} = 25$ (6).

На основе средних наружных температур воздуха для заданной местности делаем пересчет мощности по формуле:

$$Q_o^{\text{сут}} = Q_{\text{бал}}^{\text{сут}} \cdot \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{ср}}^{\text{H}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{p}}}, \quad (3.3)$$

Для определения потребности в тепле системы центрального теплоснабжения используют не только аналитический, но и графический метод, путем построения графиков. Графики бывают месячные и годовые, эти графики необходимы для решения ряда вопросов централизованного теплоснабжения. Для построения графика теплопотребления по месяцам, все необходимые параметры определяются по среднемесячным наружным температурам. Выбираются расчетные месяцы с устойчивой среднесуточной температурой начала и конца отопительного периода. На основании данных строим годовой график теплопотребления.

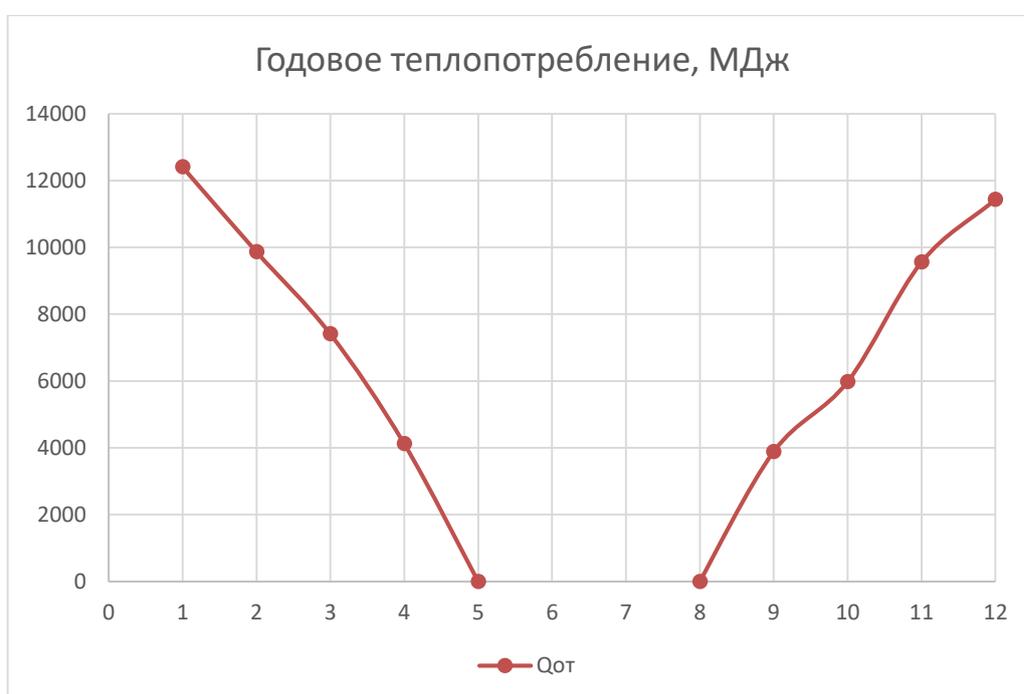


Рисунок 2.7- Годовое потребление тепла (по месяцам), МДж

3. Расчёт и подбор теплового насоса

3.1 Выбор теплового насоса

Для эффективного использования теплового насоса в отоплении необходимо учитывать разницу в температуре между входом и выходом теплоёмкого теплообменника. Поэтому очень важно подходить к выбору метода установки внешнего теплообменника с учетом конкретных условий. Так как дом расположен в Сибири где температура промерзания грунта составляет в среднем 1,6-1,8 м для суглинков и глины, лучшим выбором будет тепловой насос на принципе «вода-вода».

При выборе метода установки внешнего теплообменника для теплового насоса «вода-вода» следует учитывать такие факторы, как доступность и глубина подземных вод, наличие подходящей грунтовой воды и возможность прокладки трубопроводов. Существуют два основных метода установки внешнего теплообменника: вертикальный, горизонтальный.

Вертикальный метод предполагает заложение трубопроводов с внешним теплообменником на глубину от 30 до 150 метров в земле. Этот метод наиболее эффективен, так как подземные воды имеют более стабильную температуру круглый год, что обеспечивает высокую энергоэффективность работы теплового насоса. Однако, этот метод требует больших затрат на бурение скважины и установку трубопроводов.

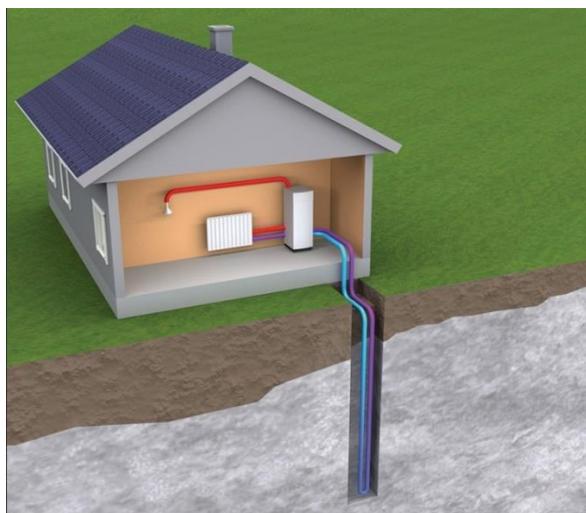


Рисунок 3.1 – скважинный метод заложения трубопровода

Горизонтальный метод предполагает заложение трубопроводов с внешним теплообменником на глубину до 2 метров в земле. Этот метод более простой и дешевый, но менее эффективен, так как температура земли на глубине 1-2 метров меняется сезонно и может быть слишком низкой для эффективной работы теплового насоса.

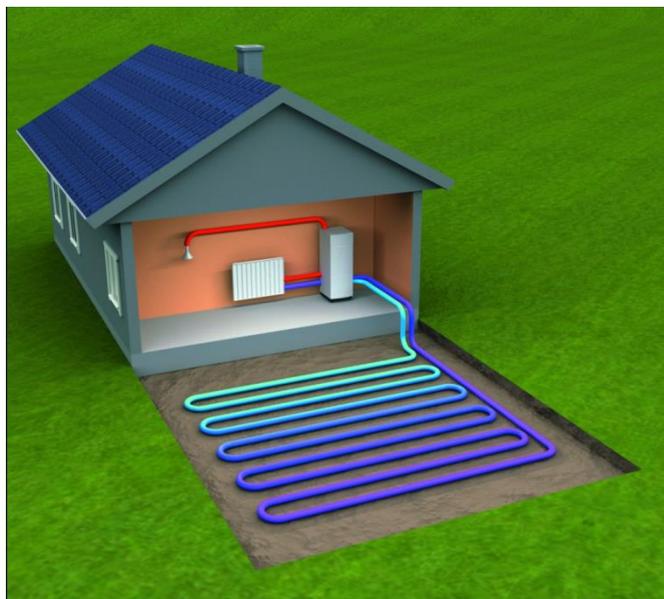


Рисунок 3.2 – метод горизонтального заложения трубопровода

Исходя из выше сказанного лучшим методом будем использование вертикального метода заложения трубопровода с так как температура подземных вод, на глубине 35 м в данном регионе круглый год составляет примерно +8 °С.

Для нашей системы возьмём тепловой насос фирмы Thermex Energy Comract 8L с характеристиками:

Таблица 3 – технические характеристики теплового насоса

Технические характеристики теплового насоса	
Номинальная тепловая мощность, кВт	7,4
Коэффициент эффективности COP	4,51
Количество компрессоров	1
Тип хладагента	R407C
Температура теплоносителя на выходе в систему, °С	60°
Перепад на входе и выходе в систему, °С	12
Рабочий диапазон источника тепла, Δ°С	4
Рабочая температура, °С	min -5°, max +15°
Номинальное напряжение, В	380В/ 3 фазы
Номинальная потребляемая мощность, кВт	1,8
Производительность, л/ч	1800



Рисунок 3.3 – тепловой насос Thermex Energy Compact 8L

3.2 Расчёт грунтового коллектора

Пригодное к использованию количество теплоты и, таким образом, размер требуемого коллектора сильно зависят от термодинамических свойств грунта и от энергии инсоляции, т.е. от климатических условий. Такие термические свойства, как объемная теплоемкость и теплопроводность, сильно зависят от состава и структуры грунта.

Определяющими факторами здесь, прежде всего, являются доля воды, доли минеральных компонентов типа кварца или полевого шпата, а также доля и размеры заполненных воздухом пор. Упрощенно можно сказать, что аккумулярующие свойства и теплопроводность тем больше, чем больше почва обогащена водой, чем выше доля минеральных компонентов и чем меньше доля пор. Отбираемая тепловая мощность для грунта зависит от качества почвы и лежит между 10 и 40 Вт/м² при шаге укладки между 0,6 и 1,0 м и глубине укладки от 1,2 до 1,5 м.

Для использования грунта в качестве источника тепла в грунт укладываются пластмассовые змеевики (грунтовые коллекторы), в которых циркулирует среда-теплоноситель. Смесь переносит отбираемое у грунта тепло к тепловому насосу. Используемая среда-теплоноситель должна обеспечивать достаточную стойкость к замораживанию. Кроме того, при возможной негерметичности не должна возникать угроза для грунтовых вод. Этим свойством обладает антифриз на основе этиленгликоля. Он был специально разработан для переноса тепла и защиты от мороза и коррозии в установках с тепловыми насосами.

Отбираемая тепловая мощность:

- 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 $q_E = 30\text{--}40 \text{ Вт/м}^2$

Из теплотребления дома и структуры грунта получается длина земляного зонда. Требуемая длина определяется по охлаждающей способности Q_0 теплового насоса. Охлаждающая способность теплового насоса является разностью отопительной мощности Q_k и потребляемой мощностью P .

$$Q_0 = Q_k - P, \quad (4.1)$$

Тепловой насос имеет при температуре источника тепла $+8 \text{ }^\circ\text{C}$ и температуре в подающем трубопроводе системы отопления $+60 \text{ }^\circ\text{C}$ отопительную мощность $7,4 \text{ кВт}$, холодопроизводительность $5,6 \text{ кВт}$ и потребляемую мощность $1,8 \text{ кВт}$. Длина грунтового коллектора определяется по формуле:

$$L = Q_0 \div q_E, \quad (4.2)$$

При удельной отбираемой тепловой мощности q_E порядка 35 Вт/м^2 получается минимально необходимая длина зонда:

$$L = 5600/35 = 160 \text{ м};$$

Пластмассовые трубы укладываются на глубине от 50 до 150 м в виде одного или нескольких U-образных контуров. Шаг укладки зависит от структуры почвы и должен составлять величину от 5 м до 10 м. Укладка труб при новом строительстве может осуществляться в ходе проведения необходимых земляных работ.

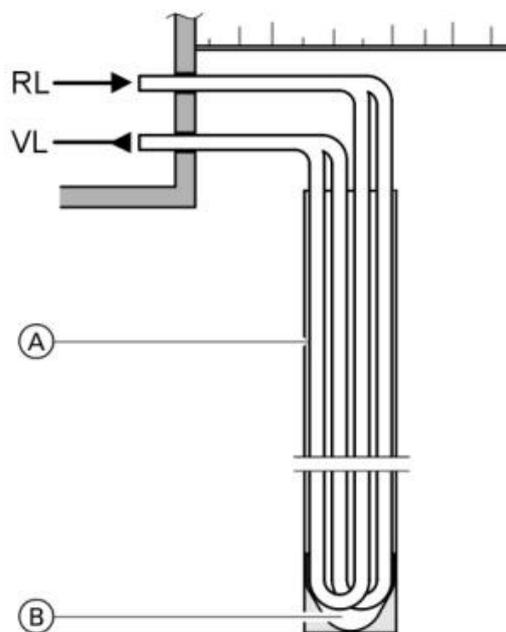


Рисунок 3.4 – двойной U-образный коллектор

Для выбранного теплового насоса трубы будут укладываться в виде двойного U-образного контура на глубину 65м с подводом для подающего и обратного контура 5м. Для зонда выбрана труба ПВД диаметром 40х3,0 мм. Общая длина системы будет равна 270м, объём теплоносителя для данной системы равен 350 л.

3.2 Расчёт теплоносителя

В качестве теплоносителя в коллекторе используется антифриз на основе пропиленгликоля ХНТ-ХВ-40. Этот теплоноситель отличается от других своим низким коэффициентом вязкости. Он безопасен для окружающей среды и не вызывает раздражения или ожогов на коже или одежде, легко смывается водой. Кроме того, если попадает в почву или грунт, он быстро разлагается, не нанося вреда природе и водным ресурсам.

Таблица 4 – физические свойства теплоносителя

Физические характеристики антифриза ХНТ-ХВ-40	
Плотность при температуре 20°C, кг/м ³	1130
Показатель pH	8,0-10,0
Температура начала кристаллизации, °C	-40
Температура замерзания, °C	-75
Температура кипения, °C	110

Для определения потерь напора в коллекторе нужно знать расход теплоносителя в коллекторе. Для определения расхода воспользуемся формулой:

$$G = Q \div (c \times \Delta t), \quad (5.1)$$

где G – это расход ХНТ-ХВ-40 в кг/с,

Q – холодопроизводительность в кВт,

c – теплоемкость гликоля в кДж/кг°C,

Δt – перепад температуры на входе и выходе из испарителя в °C.

Холодопроизводительность данной установки 5,6 кВт. Теплоемкость 2,916 кДж/кг°C. Перепад температур 4 °C. Расход при данных условиях равняется 0,48 кг/с, или 1,52 м³/час, или 0,00042 м³/с .

Потеря напора, связанная с преодолением сил трения при течении жидкости в трубе, определяется уравнением:

$$\Delta P = \lambda \times \left(\frac{L}{D}\right) \times \left(\frac{\rho \times w^2}{2}\right) \quad (5.2)$$

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:

$$w = \frac{4 \times G}{\pi \times D^2} \quad (5.3)$$

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.

Скорость течения жидкости равняется 0,52 м/с. Найдем число Рейнольдса для определения гидравлического сопротивления:

$$Re = \frac{v \times D}{\vartheta}, \quad (5.4)$$

где ϑ – скорость потока жидкости, м/с;

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

ν – кинематическая вязкость.

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

Подставив значения, мы получаем:

$$Re = \frac{0,52 \times 0,032}{1,39 \times 10^{-6}} = 11971$$

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

$$\lambda = 0,3164 \times Re^{0,25} \quad (5.5)$$

Коэффициент трения равняется:

$$\lambda = 0,3164 \times 11971^{0,25} = 3,3.$$

При длине трубопровода в 182 метров потери давления в трубопроводе равняются 295,744 кПа. Это соответствует потере напора на 8 метр. Для грунтового коллектора выбран насос Grundfos CME 1-5 с напором 52,8 метров и расходом 1.64 м3/час.



Рисунок 3.5 – Насос Grundfos CME 1-5

3.3 Выбор дополнительного оборудования

Для бесперебойного отопления дома, так же требуется установить буферную ёмкость в виде теплового аккумулятора и электродотёл, на те периоды когда тепловой насос может не справляться с нагрузкой или по каким-либо причинам выведен из работы (на техническое обслуживание, обновление, замену компонентов).

3.3.1 Выбор бака аккумулятора

Тепловой аккумулятор предназначен для сохранения тепла, полученного от различных источников, таких как солнечные коллекторы, котлы и тепловые насосы. Он может быть заполнен различными материалами, способными накапливать и сохранять тепло, такими как вода, глина, керамика и соли. Когда тепло необходимо для использования, его можно извлечь из аккумулятора и использовать для обогрева помещений или горячей воды. Таким образом, тепловой аккумулятор позволяет использовать тепловую энергию более эффективно и экономично.



Рисунок 3.6 – Общий вид аккумулятора тепла

Для вычисления объёма бака аккумулятора необходимо использовать следующую формулу:

$$V = \frac{Q_{\text{бак}}}{4200 \cdot (t_2 - t_1)} \quad (6.1)$$

где: V – удельный объём бака м^3 ,

t_1 – конечная температура теплоносителя °С,

t_2 – начальная температура теплоносителя °С,

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

$$Q_{\text{бак}} = Q_{\text{от}} * \tau \quad (6.2)$$

где: $Q_{\text{от}}$ – мощность на отопление кВт,

τ – время работы от бака аккумулятора

Подставив значение системы а именно, 7,1 кВт мощность по отоплению, температурный график отопления 60°С на 48°С, рассчитаем необходимый запас теплоты которое накопится за ночь:

$$Q_{\text{бак}} = 7,1 * 8 = 56,8 \text{ кВт}$$

Необходимый объём бака равняется:

$$V = \frac{56,8}{4200 * (60 - 48)} = 0,45 \text{ м}^3$$

По полученным значениям выбираем тепловой аккумулятор фирмы Sila SST-500.



Рисунок 3.7 – Тепловой бак Sila SST-500

Ниже приведены некоторые технические характеристики бака аккумулятора:

Таблица 5.1 – характеристики бака Sila SST-500

Технические характеристики теплового аккумулятора	
Объём бака, м ³	0,5
Рабочее давление, МПа	0,4
Материал внутреннего бака/ толщина, мм	Нержавеющая сталь SUS304 / 1,5 мм
Материал внешнего бака/ толщина, мм	Эмалированная сталь / 0,5 мм
Материал изоляция/ толщина, мм	Пенополиуретан / 50 мм
Диаметр внешнего бака, мм	700 мм
Высота, мм	1905 мм

3.3.2 Выбор запасного источника отопления

В качестве запасного источника тепловой энергии для отопления частного дома используется электрический котёл способный покрыть всю необходимую тепловую нагрузку дома.

Выбираем котёл Zota JASS-7,5. Данный котёл отличается компактностью, что идеально подходит для небольших размеров котельной.



Рисунок 3.8 -

Ниже представлены некоторые технические характеристики:

Таблица 5.2 – характеристики котла Zota JASS-7.5

Технические характеристики электрокотла	
Номинальная тепловая мощность, кВт	7,5
Объём теплоносителя в котле, л	4,5
Давление теплоносителя не более, МПа	0,3
Диапазон регулировки температуры, °С	25 - 85
Номинальное напряжение, В	380
Номинальная потребляемая мощность, кВт	7,5
Габариты, мм	356 x 730 x 276

Для обеспечения работы системы при перебоях и аварийных отключениях электроснабжения предусмотрено использование, аварийного электрогенератора.

4. Экономическое обоснование

Экономическое обоснование работы выполнено по упрощённой методике Экономической эффективности от применения теплового насоса, достигается за счёт экономии условного топлива. Количество сэкономленного за год условного топлива благодаря использованию геотермальной энергии на теплоснабжение определяется по формуле:

$$B = \frac{3,6Q_{уст}}{\eta_k Q_p^p + Q_p^э}, \quad (7.1)$$

где $Q_{уст}$ – годовые тепlopоступления от тепловых насосов, ГДж/год;

η_k – КПД установки;

Q_p^p – теплота сгорания условного топлива, 29,3 МДж;

$Q_p^э$ – количество электроэнергии

$$B = \frac{3,6 \cdot 12,41}{0,25 \cdot 29,3 + 1,8} = 4,896 \text{ (т у. т.)}, \quad (7.2)$$

Для определения капитальных вложений необходимо учесть следующие показатели: стоимость оборудования; стоимость электромонтажных работ; стоимость пуско-наладочных работ; стоимость земельных работ.

Капитальные вложения определяем по следующей формуле:

$$K_{оп} = C_{об} + C_{эр} + C_{пкн} + C_{зр}, \quad (7.3)$$

Сведем стоимость оборудования и работ выполненных при установке всего необходимого оборудования и компонентов в следующую таблицу:

Таблица 6 - Перечень необходимого оборудования, работ и их стоимость

Название оборудования/ работ	Количество, шт.	Цена, руб.	Стоимость, руб.
Тепловой насос Thermex Energy Compact 8L	1	272 301,00	272 301,00
Комплект PPR трубы, PPR фитингов, латунных кранов и фитингов, фильтра, крепежа	1	28 882,20	28 882,20

Продолжение таблицы 6.

Название оборудования/ работ	Количество, шт.	Цена, руб.	Стоимость, руб.
Комплект безопасности с мембранным баком и консолью для настенного крепежа Flamco	2	10 565,40	21 130,80
Комплект для обвязки геконтра PPR трубы, PPR фитингов, латунных кранов и фитингов, фильтра, крепежа)	1	13 945,20	13 945,20
Буферная емкость Sila SST-500	1	38 968,00	38 968,00
Электрический котёл Zota JASS – 7.5	1	35 000,00	35 000,00
Работы по монтажу теплового насоса	1	30 000,00	30 000,00
Работы по монтажу группы безопасности и мембранного бака	2	5 000,00	10 000,00
Работы по монтажу буферной емкости	1	7 500,00	7 500,00
Работы по монтажу геотермального коллектора	1	15 000,00	15 000,00
Работы по монтажу электрики	1	15 000,00	15 000,00
Пусконаладочные работы	1	8 000,00	8 000,00
Буровые работы с заведением геотермальных зондов, м	65	1 800,00	117000,00
Геотермальный зонд	2	47 560,00	95 120,00
Раствор пропиленгликоля 40% ХНТ-ХВ-40, л	350	78,00	27 300,00
Земляные работы, укладка горизонтальных участков и опрессовка зондов (+материалы для горизонтальных участков)	1	29 500,00	29 500,00
Геотермальный коллектор на 2 выхода	1	25 413,60	25 413,60
ИТОГО:			790 060,80

$K_{оп} = 790,0608$ (тыс. руб.),

Переведем 4,896 (т у. т.) в тонны для читинского угля, коэффициент которого равен 0,483:

$$\frac{4,896 \text{ т.у.т}}{0,483} = 10,13 \text{ (тонн)},$$

Цена за 1 тонну Балахтинского ореха составляет 5790 рублей.

Срок окупаемости проекта может быть определен по формуле (лет):

$$C_{\text{рок}} = \frac{K_{\text{оп}}}{B \cdot C_{\text{топл}}}, \quad (7.4)$$

$$C_{\text{рок}} = \frac{790,0608}{10,13 \cdot 5,79} = 13,31 \text{ (лет)},$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы был сделан обзор использования тепловых насосов, проанализированы особенности изучаемого объекта, выполнен расчет теплопотерь здания, а также технико-экономический расчет. Для реализации предлагаемого решения подобрано основное и вспомогательное оборудование.

Технико-экономический расчет показал, что срок окупаемости проекта составляет почти 14 лет, при использовании органического топлива - угля, при использовании пеллет срок уменьшается в 2 раза. Существенно сокращаются затраты по эксплуатации оборудования связанные с необходимостью периодической загрузкой котла топливом и удалением остатков сгоревшего топлива. Также следует отметить что существует проблема по утилизации этих отходов. Преимуществом использования ТНУ так же является отсутствие необходимости наличия запасов топлива, его хранения и транспортировки. Полная автоматизация процесса эксплуатации ТНУ позволяет экономить электроэнергию на насос и всю систему, также хорошая теплоизоляция бака аккумулятора позволяет сохранить накопленное в течении ночи тепло.

В нашем проекте было выбрано два коллектора с принудительной циркуляцией, каждый из которых имеет длину по 130 м, которые полностью покрывают потребности системы теплового насоса в низко потенциальной энергии.

Стоит также отметить, что теплонасосная установка может быть использована в паре с такими компонентами системы, как кондиционер на летний период для охлаждения дома, а так же с бойлерами, что позволяет так же покрывать нагрузку по ГВС.

Все вышеперечисленные преимущества делают тепловые насосы удобными и эффективными источниками чистой энергии, при использования на постоянной основе в течении нескольких лет.

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/teplovoy-nasos-ustroystvo-princip-raboty-preimushchestva-i-nedostatki/> (дата обращения 12.06.2021)
3. Буш, Р.Л. Тепловые насосы: теория и практика / Р.Л. Буш. - М.: Издательский дом "Дело" РАНХиГС, 2017. - 352 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. Смирнов, А. В. Экономическая эффективность использования теплового насоса в системе отопления / А. В. Смирнов, В. В. Луценко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2019. – № 8 (138). – С. 20-25.
8. Оценка эффективности использования тепловых насосов в системах отопления [Электронный ресурс] / Научные исследования в области энергетики // "Тепловые насосы для отопления и кондиционирования воздуха" автора Джона Б. Криспа, 2019. – С. 127–131.
9. Лопаткин, А. Н. Тепловые насосы в системах отопления / А. Н. Лопаткин // Технологии энергосбережения. – 2019. – № 2 (28). – С. 32-39.
10. Оценка эффективности использования тепловых насосов в системах отопления [Электронный ресурс] / Научные исследования в области энергетики. - 2019. - URL: <https://www.energy-research.com.ua/ocenka->

jeffektivnosti-ispolzovanija-teplovyh-nasosov-v-sistemah-otoplenija/ (дата обращения 01.07.2021).

11. Шевченко, А. В. Сравнительный анализ эффективности использования тепловых насосов в системах отопления / А. В. Шевченко, И. А. Тарасов // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2021. – № 2 (162). – С. 40-45.
12. Каталог оборудования Thermex [Электронный ресурс]// URL: <https://thermexenergy.ru/geothermal> (дата обращения 10.06.2023)

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

Политехнический институт

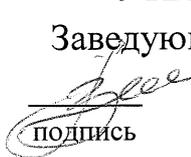
институт

Теплотехники и гидрогазодинамики

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой


подпись

В. А. Кулагин
инициалы, фамилия

« 26 » 06 2023 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

код – наименование направления

Использование нетрадиционных источников энергии для теплоснабжения

тема

Руководитель


подпись, дата

доцент, к.т.н

должность, ученая степень

С.П. Сибиряков

инициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата

Н.В. Капуцкий

инициалы, фамилия

Красноярск 2023