

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования «Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Архитектурно-строительный институт  
Кафедра «Строительное производство и теория сооружений»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент  
Директор ООО “ТЭЗИС”, к.т.н.

Д.В. Чебоксаров  
2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой,  
доцент, к. т. н.

Г. А. Пикус  
2018 г.



Проект индивидуального жилого дома пассивного типа для  
Челябинской области

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К  
ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ 08.04.01 2017 328 ПЗ ВКР

Руководитель проекта,  
доцент, к. т. н.  
К. М. Мозгалёв  
2018 г.

Автор проекта  
группы АСИ-392  
Д. Ю. Тишкина  
2018 г.

Нормоконтролер,  
К. М. Мозгалёв  
2018 г.

Проверка по системе антиплагиат  
К. М. Мозгалёв  
2018 г.

Челябинск, 2018

## АННОТАЦИЯ

Тишкина Д. Ю. Проект индивидуального жилого дома пассивного типа для Челябинской области. – Челябинск: ЮУрГУ, АСИ-392, 144с., 42 ил., 27 табл., библиогр. список – 26 наим.

Выпускная квалификационная работа выполнена с целью изучения системы пассивного дома и внедрения этой системы в проектирование и строительство на территории Челябинской области.

В работе представлены результаты анализа материалов о развитии концепции пассивного дома, проведен анализ аналогов, рассмотрены зарубежные нормативные документы и документы Российской Федерации в части проектирования тепловой оболочки здания. Рассмотрены проблемы становления понятия пассивного индивидуального жилого дома в России, а также в климатических условиях Челябинской области и рассмотрены пути решения данных вопросов.

С помощью математической модели подобраны оптимальные характеристики системы пассивного дома с учетом климата Челябинской области.

Получена экономическая составляющая, являющаяся решающим фактором при проектировании и строительстве пассивного дома.

					ЮУрГУ 08.04.01 2017 328 ПЗ ВКР		
		Подпись	Дата				
Руковод.	К. М. Мозгалев				Проект индивидуального жилого дома пассивного типа для Челябинской области	Стадия	Лист
Н. контр.	К.М. Мозгалев					ВКР	1
Разработ.	Д. Ю. Тишкина				114		
					ЮУрГУ Кафедра СПТС		

## **Оглавление**

Введение .....	4
1. Опыт проектирования и строительства индивидуальных жилых домов пассивного типа. Современное состояние вопроса .....	7
1.1. Развитие и анализ российских и европейских строительных норм по энергоэффективности зданий .....	7
1.2. Развитие пассивного строительства в России.....	9
1.3 Комплексный подход к проектированию и строительству пассивных индивидуальных жилых домов .....	21
1.4 Современные инженерно-технические системы в строительстве пассивных домов.....	23
1.4.1 Грунтовый теплообменник .....	23
1.4.2 Рекуператор .....	26
1.4.3 Геотермальный насос .....	27
1.4.4 Солнечный вентиляционный коллектор .....	28
2. Теоретическое исследование влияния различных факторов на теплопроводность здания .....	31
2.1 Зависимость теплопотерь здания от показателя компактности здания ...	31
2.1.1. Прямоугольные здания .....	32
2.1.2. Круглые здания .....	37
2.2. Зависимость теплопотерь здания от материала и конструкции стены здания .....	43
2.3. Влияние площади остекления на теплопотери здания.....	52
3. Проектирование экспериментального здания .....	64

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

3.1 Оценка и обоснование составляющих элементов системы энергоснабжения.....	64
3.1.1 Целесообразность применения солнечных коллекторов для системы отопления пассивного дома в условиях климата Челябинской области.....	64
3.1.2 Целесообразность применения грунтовых теплообменников для системы отопления пассивного дома в условиях климата Челябинской области.....	67
3.2 Математическая модель .....	70
3.2.1 Теплотехнический расчет жилого дома пассивного типа .....	70
3.2.2 Теплотехнический расчет жилого дома .....	85
4. Оценка экономической эффективности экспериментального жилого дома пассивного типа .....	103
Заключение.....	111
Библиографический список.....	113

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

## **ВВЕДЕНИЕ**

Проблемы энергоэффективности и энергосбережения с каждым годом становятся все актуальнее для всех стран мира. Так 2012 год провозглашен годом устойчивой энергетики. Эта инициатива предусматривает решение нескольких задач к 2030 году:

- обеспечение общего доступа к энергетическим услугам;
- снижение потребления мировой энергии на 40%;
- увеличение доли возобновляемых ресурсов и энергии в мире до 30%.

Что касается России, проблемы энергоэффективности поднимаются с 2009 года, когда был принят Федеральный закон №261 "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации". Решающим фактором снижения уровня энергопотребления в России является энергосбережение в строительстве, так как строительство - один из главных потребителей энергоресурсов.

Основное внимание в данной работе удалено разработке принципов домостроения с минимальными затратами энергетических ресурсов и денежных вложений. При этом энергоэффективное строительство рассматривается не только как экономия электрической и тепловой энергии, но и как улучшение качества жизни людей, улучшение их здоровья, комфорта и продуктивности.

В данной работе так же рассмотрены удачный опыт строительства и проектирования пассивных домов зарубежных стран, таких как Германия - родоначальник пассивных домов, и положительные примеры внедрения пассивных домов на территории России. Особое место отводится проектированию пассивных домов в сложных климатических условиях Челябинской области.

Пассивный дом - это стандарт в строительстве, который является энергоэффективным, создает комфортные условия проживания, является экономичным и оказывает минимальное негативное влияние на окружающую среду.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

Пассивный дом представляет собой строительную концепцию - это здание, в котором возможно достичь комфортного микроклимата, как в зимний период без отдельной системы отопления, так и в летний период без системы кондиционирования.

Целью данной выпускной квалификационной работы является выбор и обоснование на основе исследований и комплексных расчетов наиболее подходящих объемно-планировочных и конструктивных решений, а также инженерного оборудования и систем для пассивного индивидуального жилого дома в условиях Челябинской области.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить несколько задач:

- обосновать выбор конфигурации здания, как базу для создания пассивного жилого дома;
- обосновать объемно-планировочные и конструктивные решения, принятые при проектировании пассивного дома, способствующие повышению энергоэффективности, качества функционирования и экономичности всех систем;
- провести обоснование и исследования технических систем, способствующих реализации энергосберегающих технологий в проектируемом пассивном доме;
- провести теоретические исследования эффективности принятых решений и оценку полученных технико-экономических результатов;
- систематизировать полученные энергосберегающие мероприятия для их внедрения в практику массового строительства пассивных домов по Челябинской области.

Научная новизна работы заключается в:

- обосновании возможности и целесообразности возведения пассивного жилого дома на территории Челябинской области;

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

- обосновании объемно-планировочных и конструктивных решений пассивного жилого дома;
- обосновании технических решений инженерных систем и оборудования для их устройства, подтверждении их энергоэффективности;
- в выполнении технико-экономической оценки полученных результатов;
- систематизировании оптимальных энергосберегающих мероприятий и технических решениях для их применения при проектировании и строительстве жилых зданий с пониженным энергопотреблением в период их эксплуатации для климатических условий Челябинской области.

Объектом исследования является пассивное жилое здание в процессе эксплуатации и строительства.

Предметом исследования являются объемно-планировочные и конструктивные решения зданий, а также технические решения инженерных систем и применяемого оборудования для их устройства, способствующие снижению энергопотребления в период их эксплуатации.

Теоретическими и методологическими основами исследований являются достижения отечественной и зарубежной науки в области энергосбережения.

Научно-техническая и практическая ценность работы заключается в обосновании и выборе оптимальных энергосберегающих мероприятий и технических решений для индивидуальных жилых домов пассивного типа, рекомендуемых к массовой застройке на территории Челябинской области.

Результаты работы рекомендуются для применения при проектировании, строительстве и эксплуатации пассивных домов в условиях климата Челябинской области. А так же для внесения изменений в нормативные документы Российской Федерации в сфере проектирования отопления, вентиляции и наружной тепловой оболочки здания.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

# **1. ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ ПАССИВНОГО ТИПА. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА**

## **1.1. Развитие и анализ российских и европейских строительных норм по энергоэффективности зданий**

В Европейских странах существует классификация зданий по уровню их энергопотребления

Таблица 1.1 - Классификация зданий по уровню энергопотребления

<b>Класс здания</b>	<b>Дата постройки</b>	<b>Потребление энергии</b>
Старое здание	Постройки до 1970 года	300 кВт·ч/м <sup>2</sup> год
Новое здание	С 1970 до 2000 года	150 кВт·ч/м <sup>2</sup> год
Дом низкого потребления энергии	С 2002 года	Не более 60 кВт·ч/м <sup>2</sup> год
Пассивный дом		Не более 15 кВт·ч/м <sup>2</sup> год
Дом нулевой энергии		0 кВт·ч/м <sup>2</sup> год
Активный дом		Энергия "плюс"

Дом нулевой энергии - это здание, имеющее тот же стандарт, что и пассивный дом, но оснащенное так, что потребляет только ту энергию, которую вырабатывает само.

Активный дом - здание, которое вырабатывает больше энергии, чем потребляет само, с помощью установки инженерного оборудования.

В странах Евросоюза в 2009 году принята директива энергетических показателей , которая предписывает, чтобы к 2020 году все новые здания приближались к энергетической нейтральности.

Критериями для пассивного дома в Европе являются:

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

- удельный расход тепловой энергии на отопление, определенный с помощью "Пакета проектирования пассивного дома", не должен превышать 15 кВт·ч/(м<sup>2</sup>год);

- общее потребление первичной энергии для всех бытовых нужд (отопление, горячая вода и электрическая энергия), не должно превышать ≤ 120 кВт·ч/(м<sup>2</sup>год).

Строительная сфера в России занимает второе место по потреблению энергии. Около 40% всей энергии используется в зданиях. Они являются основными потребителями энергии и главным источником выбросов парниковых газов. Экономия энергии в строительстве может быть достигнута через сокращение потребления тепловой энергии, так как 2/3 всей энергии расходуется на отопление и кондиционирование жилого дома. Современные технологии позволяют значительно сократить эти расходы.

Главным документом, определяющим внедрение энергоэффективных технологий для России, является закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности», который был принят в ноябре 2009г.

Он включает комплекс мер по стимулированию энергосбережения и повышению использования энергосберегающих материалов при строительстве зданий. В законе прописаны требования об установке счетчиков потребления энергии во всех строящихся зданиях, вводимых в эксплуатацию в период с 2010 года. Так же установку приборов учета в ранее построенных домах.

В период с 1994 по 2000 год в рамках закона "Об энергосбережении" на региональном и федеральном уровнях были разработаны комплексы нормативной документации по энергосбережению. Ключевыми являются: СНиП 23-02-2003 "Тепловая защита зданий" и ТСН 23-320-2000 Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий. Нормативы по теплозащите зданий. Челябинская область". Данные документы позволяют повысить теплозащитные характеристики мембранны здания в 2,5 - 3 раза.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

## 1.2. Развитие пассивного строительства в России

Классы энергоэффективности

Сегодня в России, в соответствии со СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий», установлены следующие классы энергоэффективности зданий:

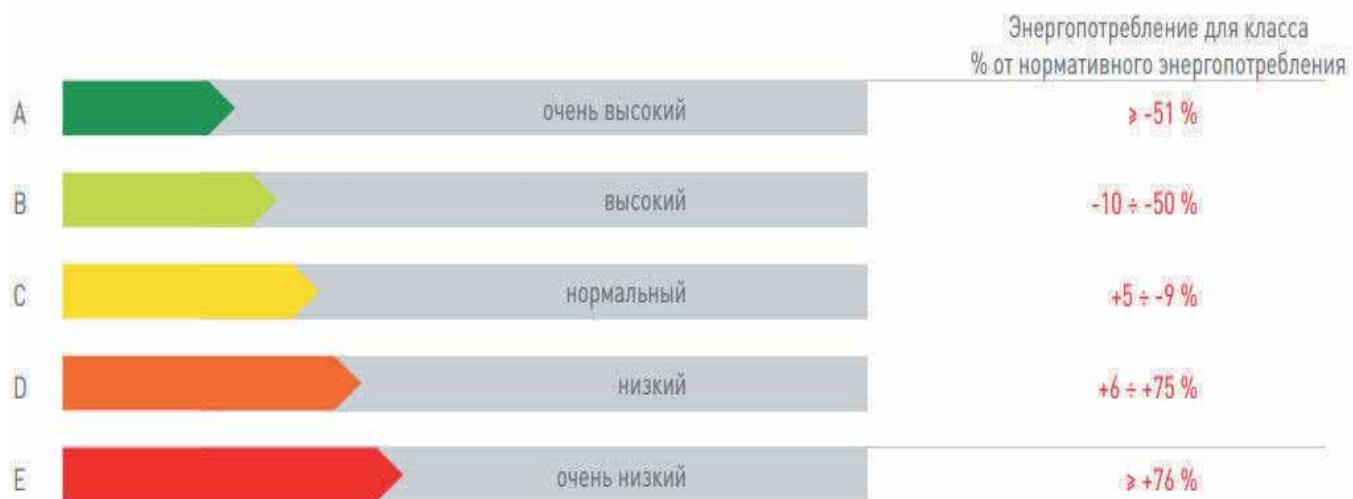


Рисунок 1.1 - Классы энергоэффективности зданий

Понятие энергоэффективности включает в себя рациональное использование энергии. В зданиях используется почти 45% всей энергии, потребляемой в мире. Основное количество энергии расходуется в системе отопления, вентиляции и кондиционирования. Но современные технологии и оборудование позволяют снизить расход энергии.

Энергоэффективный (пассивный) дом - выгодное вложение средств. При эксплуатации пассивного или иного энергосберегающего дома, владелец получает ряд положительных преимуществ. Например, снижение расходов на отопление и обогрев здания круглогодично, отличную звуко- и шумоизоляцию помещений и дома в целом, комфортный микроклимат без дополнительных усилий.

Энергия, сохраненная в зданиях - ресурс, развития системы теплоснабжения.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------



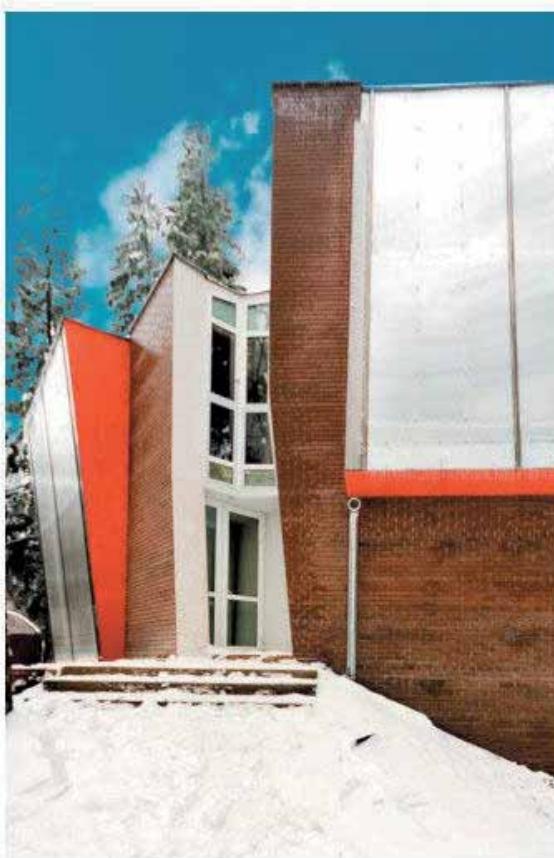
Рисунок 1.2 - Потенциал энергосбережения для типичного здания

Рассмотрим несколько ярких примеров строительства пассивных домов на территории России.

Частные дома Green Balance (Московская область) и Natural Balance (Республика Татарстан). Данные объекты доказывают, что в суровом климате России возможно построить и успешно эксплуатировать жилые дома пассивного типа. Авторы данных объектов подтверждают, что строительство объектов является экономически выгодным вложением и применение пассивных систем не ограничивается климатической зоной.

Дома Green Balance и Natural Balance выполнены с различным дизайном. Первый дом возведен с применением ярких архитектурных элементов, нестандартной формы, в то время как, второе здание выполнено в традиционном стиле с мансардной кровлей и простыми в отделке однотонными фасадами.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата



Green Balance



Natural Balance

Рисунок 1.3 - Green Balance и Natural Balance

Основной целью пассивного дома является сохранение здоровья человека и окружающей среды. Именно поэтому все системы, используемые при эксплуатации дома пассивного типа, направлены на рациональный подход к использованию ресурсов и отношению к окружающей среде.

#### Green Balance

Дом Green Balance спроектирован с учетом минимальных затрат на отопление и электричество. Энергоэффективность дома от части обеспечивают архитектурные решения. Архитекторами просчитан коэффициент компактности здания, таким образом, чтобы площадь поверхности здания в самом удачном отношении приходилась к отапливаемому объему, заключенному в этой оболочке. Коэффициент компактности здания получен меньше, чем в традиционных зданиях. Площадь наружной поверхности здания уменьшается за счет заглубления жилого этажа в грунт, оставляя на открытом воздухе часть

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

оболочки здания. Таким образом, площадь поверхности, с которой уходит тепло в окружающую среду уменьшается, а значит и уменьшаются теплопотери наружной оболочки [25].

Так же решения в архитектурной части проекта предусматривают уменьшение энергозатрат на отопление здания в зимний период года за счет увеличенной площади остекления, расположенной на южном фасаде здания. Так же большая площадь остекления позволяет экономить средства на искусственном освещении помещений, за счет большей пропускной способности дневного света в помещения.

Схема энергоэффективных технологий, использованных при строительстве дома Green Balance

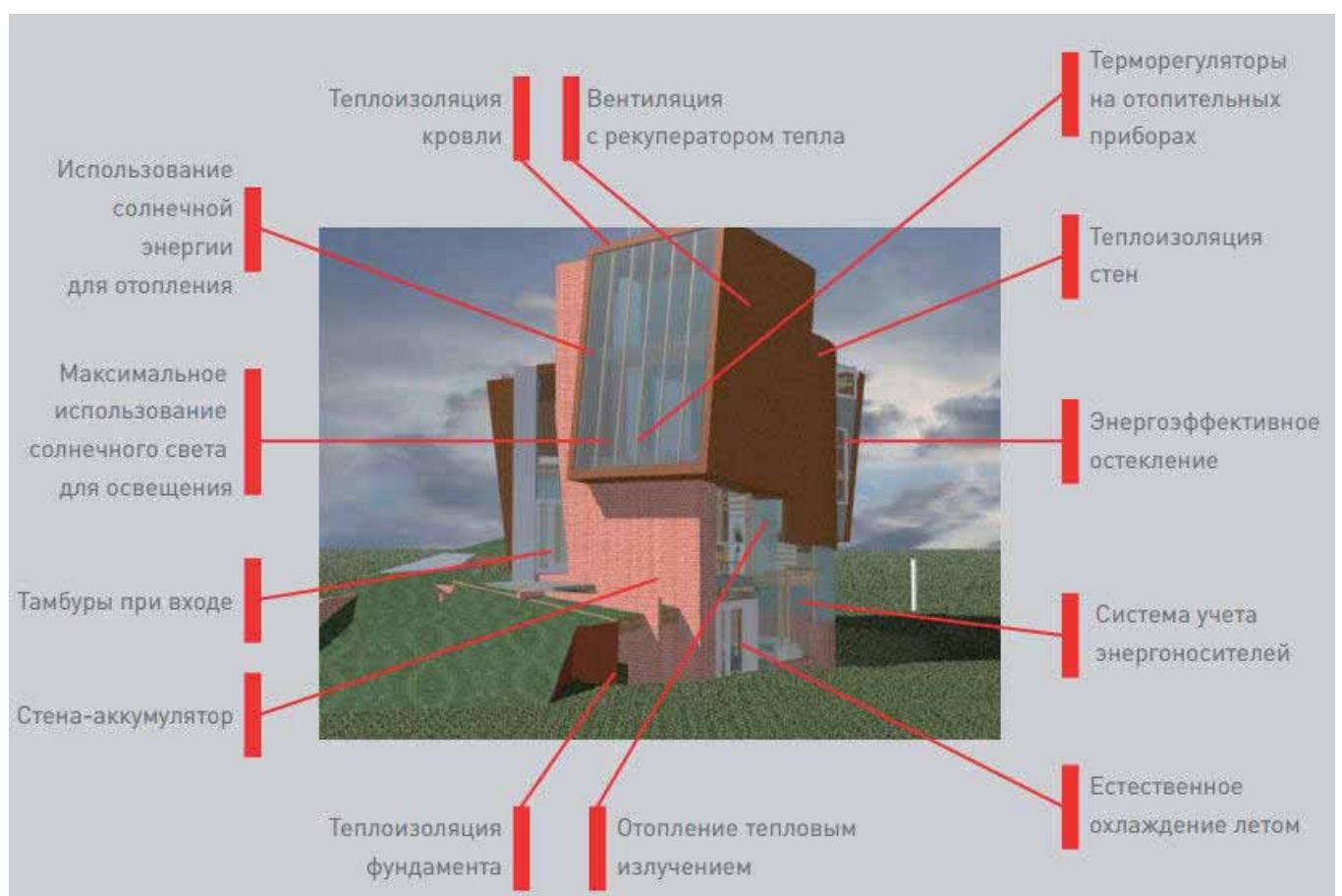


Рисунок 1.4 - Схема энергоэффективных технологий, использованных при строительстве дома Green Balance

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

В проекте Green Balance, как и в любом энергоэффективном здании, большое внимание уделено теплоизоляции оболочки здания и строительству без "мостиков холода". Соответственно, теплозащита здания увеличена в разы, в сравнении с обычным жилым индивидуальным домом.

### Фундамент

Пол первого этажа выполнен по грунту, на отметке -1,5 метра ниже уровня земли. В качестве утеплителя выступают плиты минераловатные толщиной 120 мм. По утеплителю выполнена выравнивающая армирующая стяжка, на которую укладывается чистовая отделка пола. Сопротивление теплопередаче конструкции пола по грунту составляет  $R = 3,0 \text{ м}^2 \cdot {}^\circ\text{C} / \text{Вт}$ .

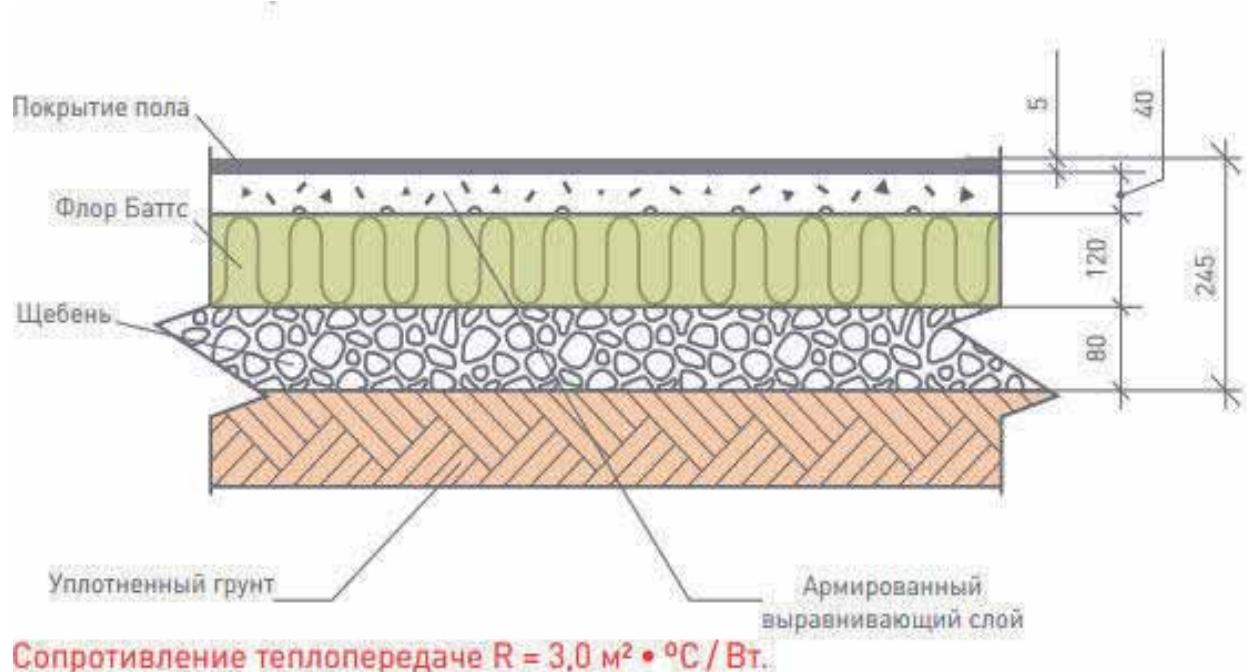


Рисунок 1.5 - Конструкция пола дома Green Balance

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

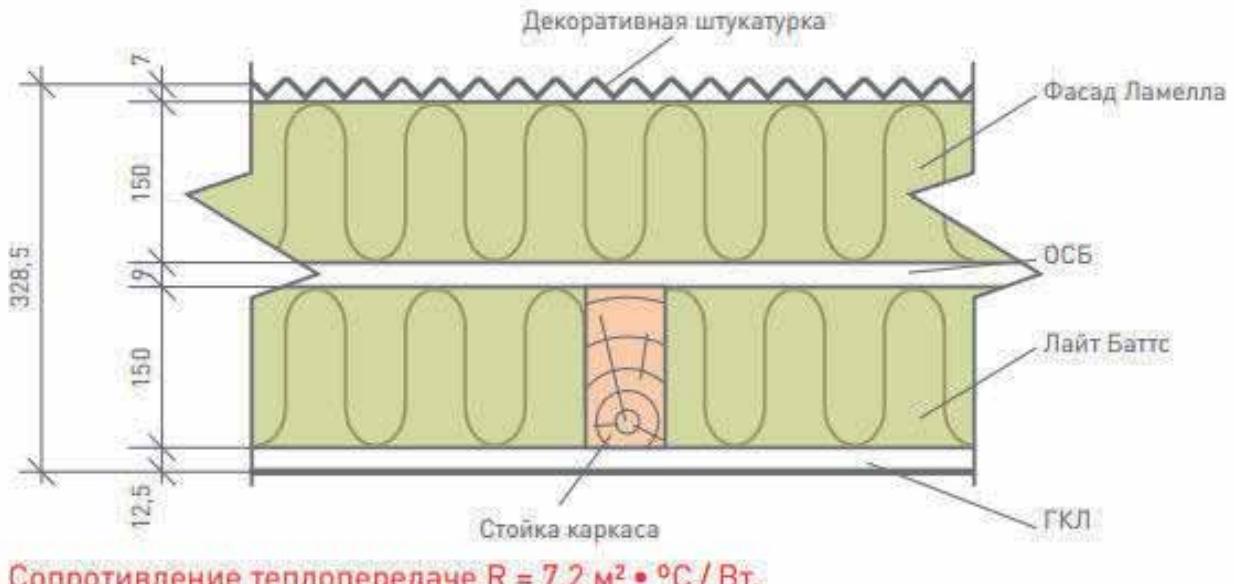


Рисунок 1.6 - Конструкция стены дома Green Balance

Стены в уровне первого этажа, соприкасающиеся с грунтом, выкладывают кирпичной кладкой с внутренним утеплением минераловатными плитами с покрытием фольгой.

Общие принципы здания: южный фасад - наибольшая площадь остекления, северный фасад - глухой. Восточный или западный фасад - теплоаккумулирующая стена. Устраивается с целью поглощения энергии снаружи здания и передачи тепла в пространство внутри тепловой оболочки. Самые подходящие материалы: бетон, кирпич, камень, те материалы, которые обладают высокими теплопроводными свойствами.

Наружные стены дома, не являющиеся теплоаккумулирующими, выполнены каркасные, с двойной деревянной обрешеткой и заполнением минеральной ватой. Сопротивление теплопередаче  $R = 7,2 \text{ м}^2 \cdot {}^\circ\text{C} / \text{Вт.}$  Во избежание мостиков холода, стены снаружи дополнительно обшиты слоем теплоизолирующего материала на основе минеральных плит.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

## Кровля

Крыша выполнена из деревянных стропил, с системой обрешетки и заполнением минераловатными плитами. Материал покрытия - рулонный битумный кровельный материал, укладывается на OSB плиту. Сопротивление теплопередаче  $R = 8,5 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

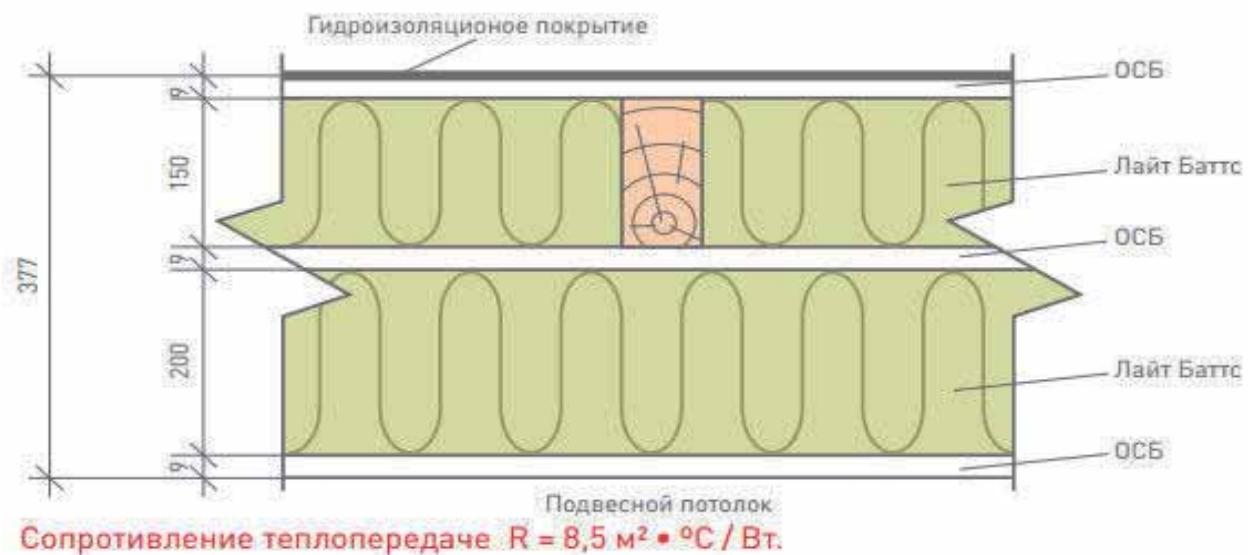


Рисунок 1.7 - Конструкция кровли дома Green Balance

В итоге, проект Green Balance является доказательством того, что в климате России вполне возможно построить нестандартный стильный энергоэффективный дом, отвечающий всем параметрам строительства пассивных домов.

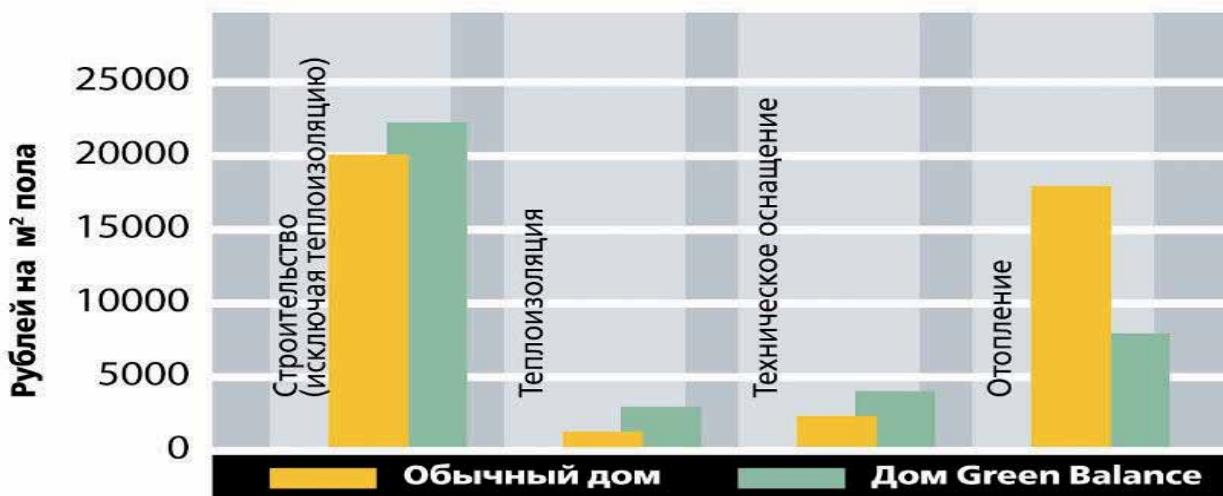


Рисунок 1.8 - Сравнение стоимости строительства и эксплуатации дома Green Balance и обычного дома

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

На рисунке мы можем видеть график сравнения строительства и эксплуатации обычного и энергоэффективного дома Green Balance, на основе данных каталога застройщика [25]. Стоимость строительства была увеличена на 14,5%. Но по укрупненным подсчетам затраты окупятся через 9 лет. Годовая экономия составит примерно 32 тыс. рублей, за счет уменьшения затрат на обогрев здания.

Следующим ярким энергоэффективным проектом является дом Natural Ballance. Данный проект демонстрирует доступность энергосберегающих технологий, и их окупаемость.

Дом Natural Ballance расположен в Республике Татарстан, город Набережные Челны.

При строительстве использовались технологии усиленной теплоизоляции наружного контура здания, эффективного остекления, инженерного оборудования.



Рисунок 1.9 - Схема энергоэффективных технологий, использованных при строительстве дома Natural Balance

#### Фундамент

Первый этаж располагается в уровне земли, полы устраиваются по грунту, с применением 150 мм утеплителя, с последующей армирующей стяжкой.

Сопротивление теплопередаче  $R = 3,6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Bt}$ .

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------



Рисунок 1.10 - Конструкция стены дома Natural Balance

Наружная оболочка здания выполняется из трехслойной конструкции с покрытием защитными декоративными панелями по принципу вентилируемого фасада. Утеплитель каменная вата. Сопротивление теплопередаче  $R = 5,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Bt}$ .

Кровля.

Крыша выполнена мансардная, скатная. Во избежание мостиков холода плиты утеплителя укладываются в два слоя, перпендикулярно друг другу, что не дает возможности проникновения холодного воздуха в зазоры между листами утеплителя. Сопротивление теплопередаче  $R = 6,1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Bt}$ .

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------



Рисунок 1.11 - Конструкция кровли дома Natural Balance

По проекту светоограждающие конструкции выполняются из пятикамерного профиля толщиной 76 мм. Двойные стеклопакеты заполняются инертным газом, внутренне стекло покрывается низкоэмиссионным покрытием, для снижения теплообмена здания. Большая часть окон ориентирована на юг, для лучшего пропускания естественного освещения помещений. Сопротивление теплопередаче  $R = 0,79 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Bt}$ .

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------



Рисунок 1.12 - Окно дома Natural Balance

В доме установлен геотермальный насос. Жидкий теплоноситель поступает в испаритель, где происходит испарение жидкости и превращение жидкости в пар. Теплоноситель резко остывает и забирает тепло земли (или окружающей среды). Затем пар поступает в конденсатор, где он в результате повышения давления остывает , и передает тепло в окружающую среду. Далее теплоноситель конденсируется в жидкость и процесс повторяется вновь.

Так же для системы отопления используются грунтовые теплообменники. На глубине 35 метров, где сохраняется постоянная температура грунта около 15°C, в 10ти скважинах устанавливаются грунтовые зонды, которые передают тепло земли в систему отопления здания и подогрева воды.

Для поддержания оптимальной температуры помещения используются теплые водяные полы.

Иzm.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

Дому присвоен класс энергетической эффективности "А" (очень высокий). Энергопотребление дома снижается на 78% относительно потребления обычными зданиями.

Применение современных энергоэффективных технологий увеличило стоимость строительства дома на 22%. Но экономия затрат на отоплении составляет около 22 тысяч рублей в год, по данным проектировщика и застройщика [25].

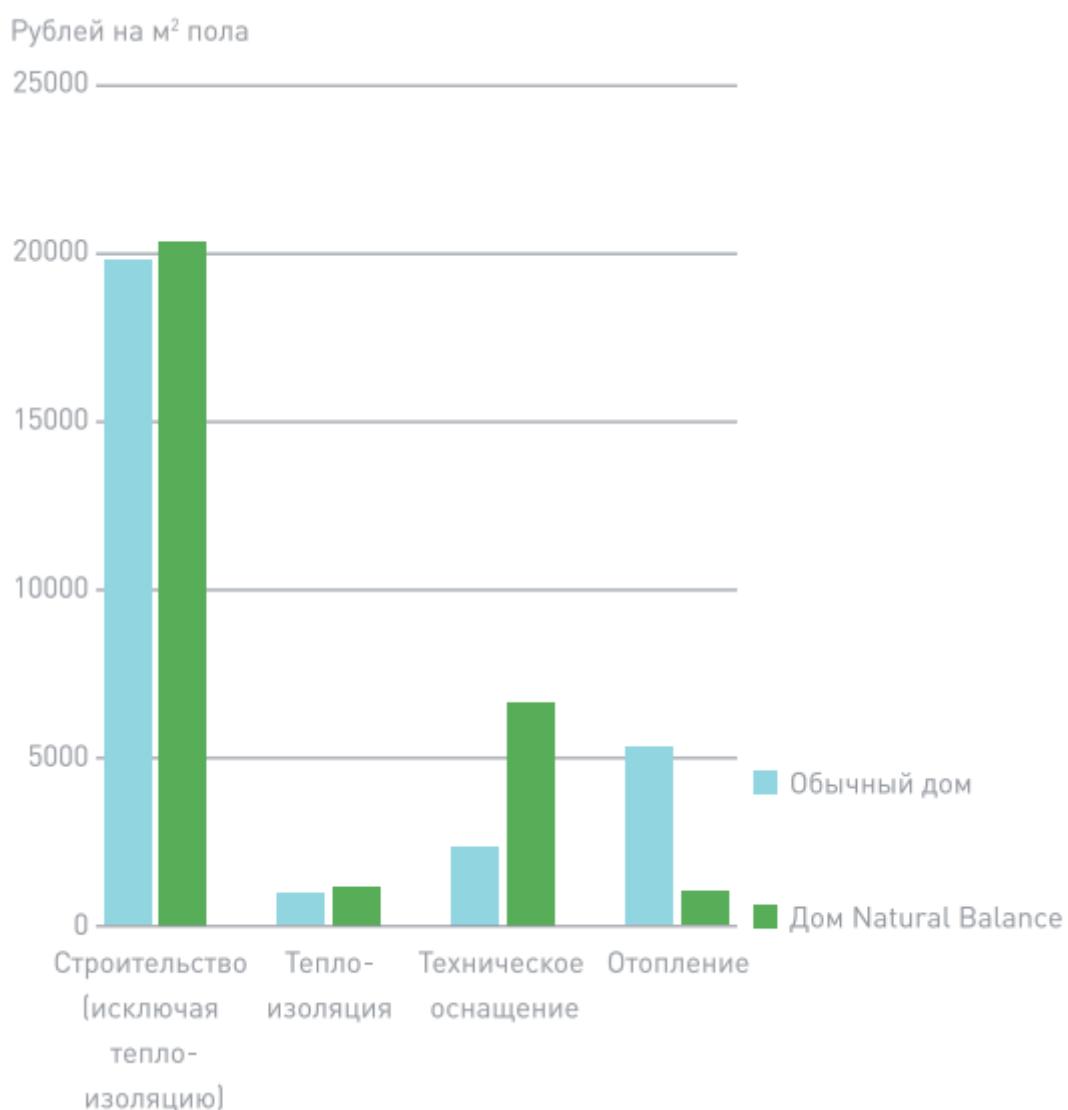


Рисунок 1.13 - Сравнение стоимости строительства и эксплуатации дома Natural Balance и обычного дома

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

### **1.3 Комплексный подход к проектированию и строительству пассивных индивидуальных жилых домов**

Пассивным домом называют современный энергоэффективный стандарт в строительстве. Система пассивного дома за счет инженерных решений создает комфортный микроклимат в помещениях, снижает отрицательное влияние на окружающую среду.

Строительная концепция представляет собой достижение комфортного микроклимата в зимний период без отдельной системы отопления, а в летний период года без системы охлаждения.

Главными особенностями являются: система утепления наружного теплового контура здания, исключая мостики холода, и система вентиляции с рекуперацией тепла. В системе отопления пассивного дома следует предусмотреть дополнительную систему отопления, например котел, который будет использоваться только в экстренных случаях.

Европейскими нормами установлена величина удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, эта величина принимается равной 15 кВт·ч/(м<sup>2</sup>год). Чтобы обеспечить такую норму необходимо соблюдать некоторые правила:

- коэффициенты теплопередачи для наружных стен, кровли и полов первого этажа должны составлять  $R_0 \geq 6,7$  (м<sup>2</sup>°C)/Bт;
- для остекления  $R_0 \geq 1,4$  (м<sup>2</sup>°C)/Bт);
- для оконного профиля  $R_0 \geq 1,25$  (м<sup>2</sup>°C)/Bт);
- приведенный коэффициент теплопередачи окна с учетом монтажа в стену  $R_0 \geq 1,2$  (м<sup>2</sup>°C)/Bт);
- КПД рекуператора должно быть более 80%, чтобы обеспечивался эффективный возврат тепла;

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

- должна обеспечиваться герметичность наружной оболочки здания. Кратность воздухообмена при разности давлений 50 Па наружного и внутреннего воздуха должна составлять  $n_{50} \leq 0,6 \text{ ч}^{-1}$ .

Так же для поддержания удовлетворительных условий жизни необходимо учитывать архитектурно-планировочные решения:

1. Климатические характеристики района строительства, рельеф окружающей местности, анализ существующей застройки;
2. Форма здания с учетом коэффициента компактности здания;
3. Ориентация по сторонам света;
4. Площадь остекления здания и расположение световых проемов по сторонам света;
5. Выбор материала несущих стен, облицовки здания, материала покрытия кровли и др.;

Инженерно-технологические решения:

1. Выбор системы отопления и вентиляции здания;
2. Выбор системы автоматизации и управления инженерным оборудованием здания.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

## 1.4 Современные инженерно-технические системы в строительстве пассивных домов

### 1.4.1 Грунтовый теплообменник

В настоящее время при устройстве системы вентиляции частного жилого дома часто используется грунтовый теплообменник.

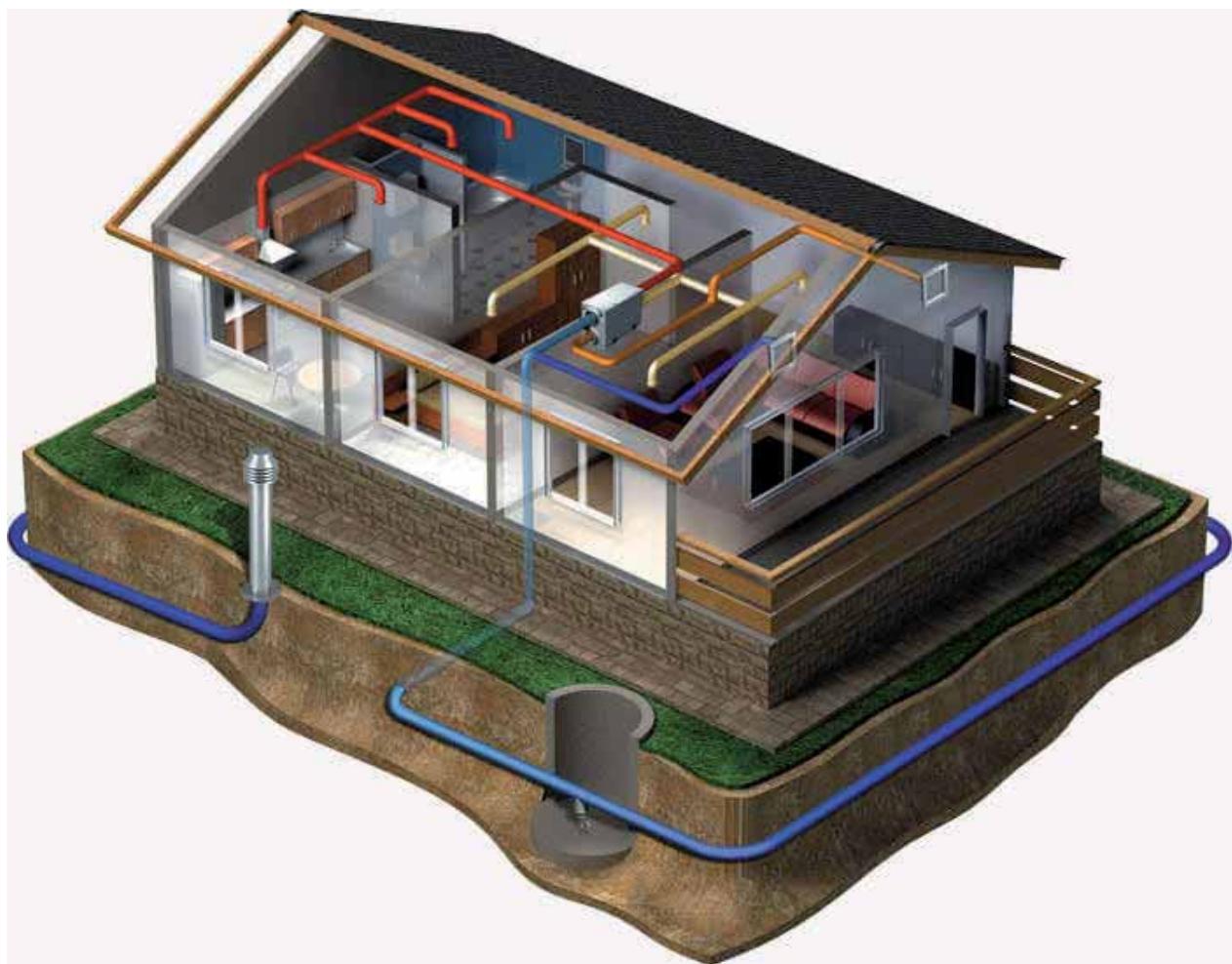


Рисунок 1.14 - Схема устройства грунтового теплообменника

Теплообменник представляет собой трубу, проложенную в земле ниже глубины промерзания грунта. Считается, что температура на глубине 1,9 - 2,0 м остается постоянной в любое время года. При прохождении воздухом грунтового теплообменника, его температура поднимается приблизительно на 10°C.

Иzm.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

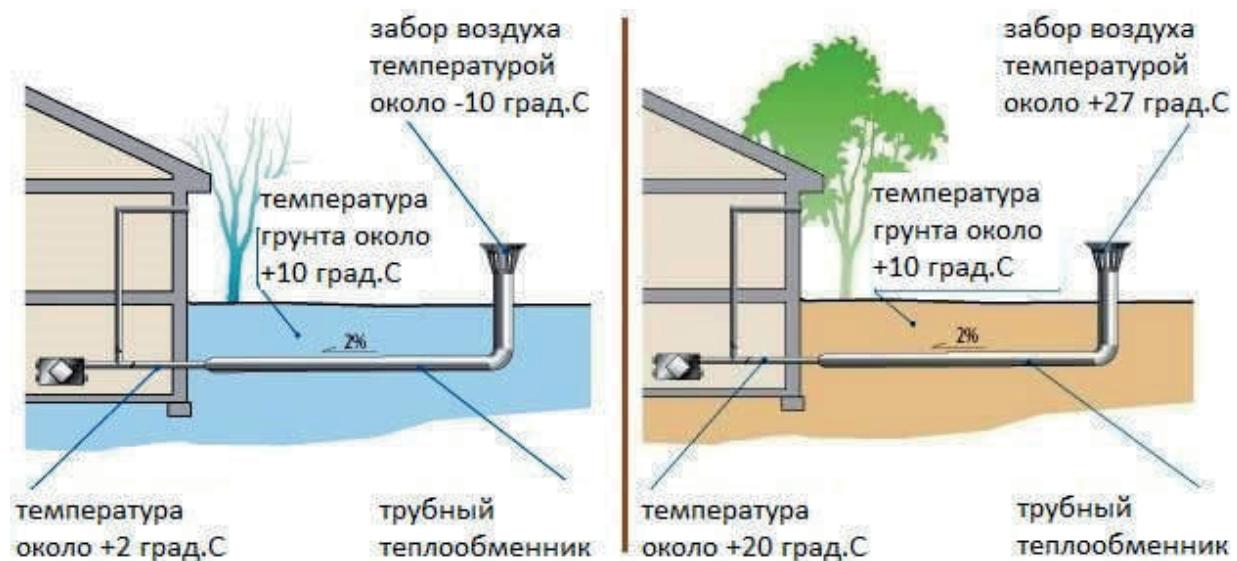


Рисунок 1.15 - Схема применения грунтового теплообменника

Применение грунтового теплообменника в системе вентиляции снижает расход энергии на подогрев (или охлаждение) наружного воздуха в среднем на 25%. В летнее время воздух в теплообменнике охлаждается, исключая потребность в кондиционировании.

Система вентиляции может быть как естественной, так и принудительной. Грунтовый теплообменник выполняет роль приточных клапанов. Удаление воздуха осуществляется через вытяжные каналы вентиляции.

В межсезонье грунтовый теплообменник не используют, т.к. эффективность системы мала при температуре наружного воздуха от +5 ... до +25°C.

На случай остановки системы грунтового теплообменника блок вентиляции с рекуператором должен иметь байпас, чтобы воздух мог поступать в здание помимо рекуператора.

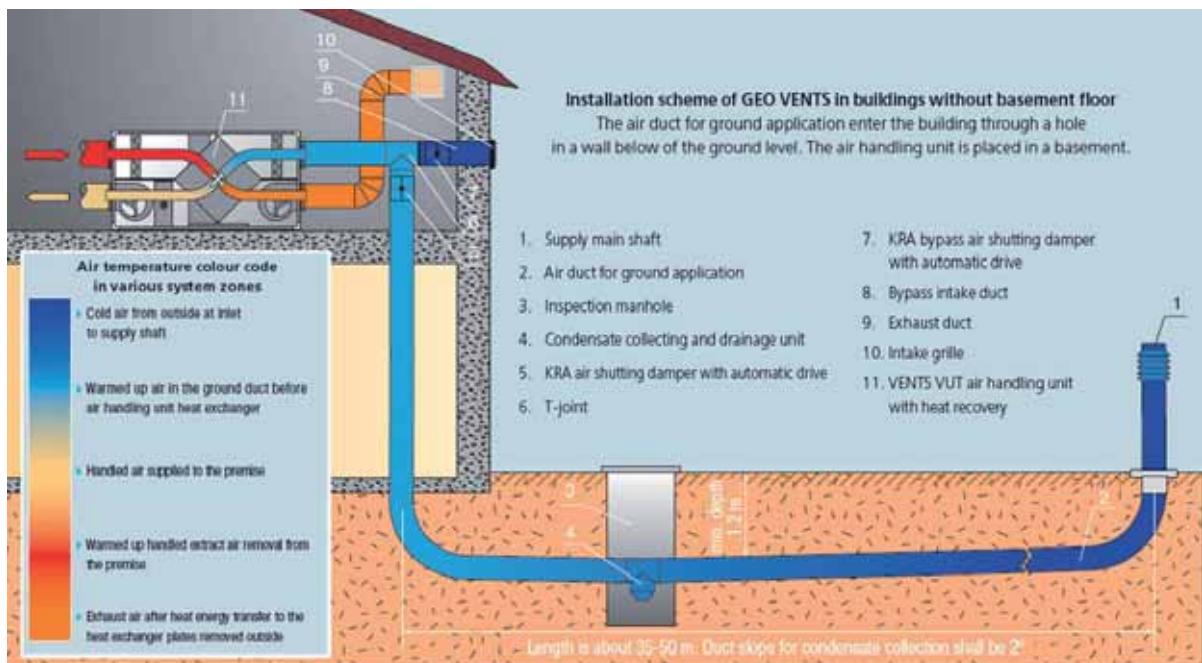


Рисунок 1.16 - Конструкция грунтового теплообменника

Система грунтового теплообменника включает в себя:

1. Воздухозаборник с фильтром. Конец трубы с фильтром, где установлен воздухозаборник, выводят на участке выше уровня снегового покрова, но не рекомендуется делать забор воздуха ниже 1,5 метров от уровня земли. Почвенный газ радон - радиоактивен и скапливается у поверхности земли. Так же воздухозабор рекомендуется устанавливать не ближе 10м от источников запаха.
2. Труба диаметром 200-250мм. Трубу укладывают в траншею, предварительно открытую по периметру здания, не ближе 1м от фундаментов здания. Увеличивать диаметр труб не имеет смысла, эффективность теплопередачи не изменяется, а стоимость труб вырастает значительно. Специально для грунтовых теплообменников используют трубы из полипропилена, они более теплопроводны, чем трубы из ПВХ. Расчетная длина трубы теплообменника варьируется от 30 до 50 м. Чем длиннее труба, тем эффективнее теплообмен. Прокладку труб необходимо выполнять с уклоном 2% в одну из сторон, это

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

необходимо для стока конденсата. Конденсат необходимо удалять в канализацию или специальный дренажный колодец.

3. Ревизионный колодец с конденсатоотводчиком. Для проверки системы и опорожнения от скопившегося при эксплуатации конденсата.
4. Байпас: заслонка с автоматическим приводом, приточная труба, приточная решетка.
5. Блок приточно-вытяжной вентиляции с рекуператором.

#### 1.4.2 Рекуператор

Рекуператор - приточно-вытяжная установка, аккумулирующая внутреннее тепло помещения, и подогревающая с его помощью холодные потоки наружного воздуха.

Принцип работы пластиначатого рекуператора: отводимый воздух из помещений проходит через теплообменник, отдавая тепло стенкам кассеты, от них нагревается поступающий в помещение воздух. В жилые помещения поступает чистый и свежий воздух за счет установленных в теле рекуператора фильтров очистки воздуха.

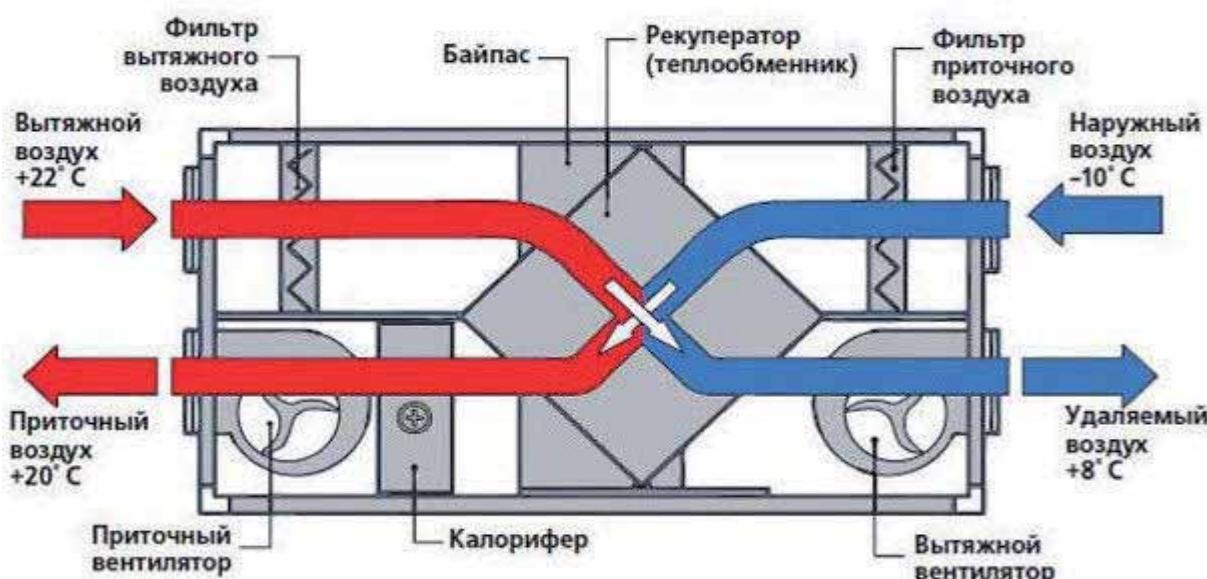


Рисунок 1.17 - Конструкция рекуператора

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

Для пассивного дома, в соответствии с Европейскими нормами, следует использовать рекуператор с КПД не менее 80%. Это значит, что рекуператор должен нагревать уличный воздух не менее, чем на 80% от температуры внутреннего воздуха.

Недостатком рекуператора является наледь, образующаяся на пластинках кассеты. Теплообменная пластина и вытяжной воздух имеют разные температуры, на пластинах образуется конденсат, который в последствии может превратиться в наледь. Производительность системы падает за счет сопротивления проходимости воздуха через систему. В данной ситуации необходимо устраивать дополнительную систему с установкой байпаса, пока происходит разморозка пластин рекуператора, приточный воздух поступает в обход пластины, через клапан-байпаса. Приточный воздух в таком случае практически не нагревается. Эффективность системы снижается, экономия становится незначительной.

Для расчета прошедшего через рекуператор воздуха используется формула:

$$t_{\text{(после рекуператора)}} = (t_{\text{(внутри помещения)}} - t_{\text{(на улице)}}) \times (\text{КПД рекуператора}) + t_{\text{(на улице)}}$$

Расчет следует выполнять для температуры холодной пятидневки.

#### ***1.4.3 Геотермальный насос***

Геотермальный насос - система центрального отопления или охлаждения, которая использует тепло грунта из слоев ниже промерзания грунта. Земля является источником отопления или охлаждения в теплый период года.

Принцип работы грунтового теплоносителя: Жидкий теплоноситель поступает в бак испаритель, где происходит уменьшение давления и превращение жидкости в пар. Теплоноситель остывает и забирает тепло грунта, далее пар попадает в компрессор, где происходит повышение давления. Далее пар выталкивается в конденсатор, где в результате сжатия он и отдает тепло в окружающую среду. Например, нагревает воду. Пар снова конденсируется и цикл повторяется.

Иzm.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

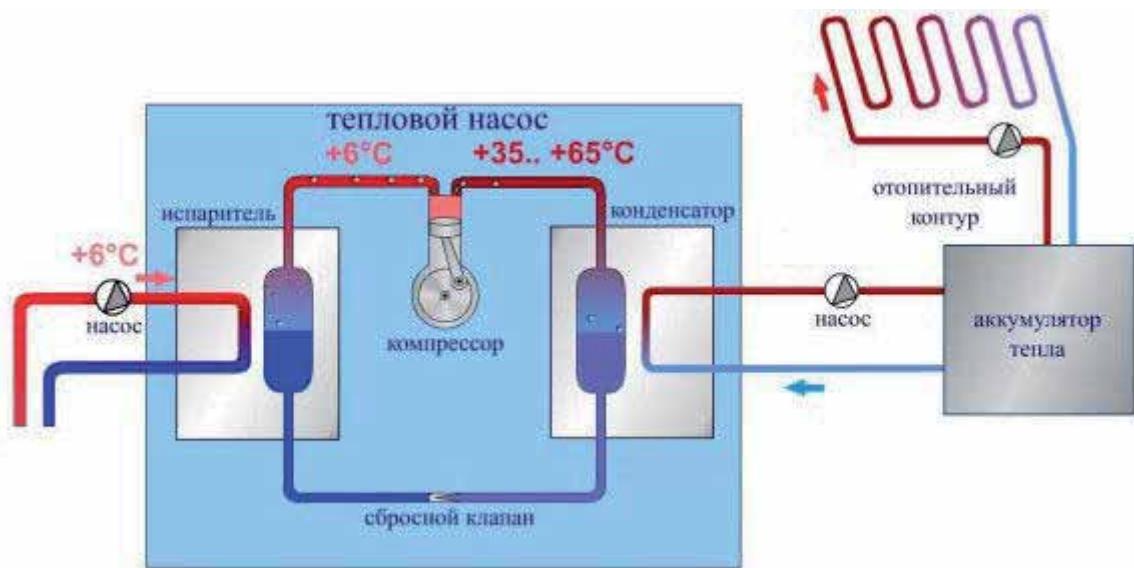


Рисунок 1.18 - Схема работы рекуператора

Основные типы устройства грунтового теплообменника.

- Горизонтального типа

Коллектор размещается кольцами ниже промерзания грунта в траншеях.

- Вертикального типа

Данный способ используется при малой площади земельного участка. Насос размещается в вертикальных скважинах.

- Водный тип

Один из самых сложных вариантов размещения теплообменника. Коллектор размещается в водоеме. Но имеются требования к водоему в отдельных регионах.

Данная система может быть тесно связана с водяной системой отопления.

#### **1.4.4 Солнечный вентиляционный коллектор**

Солнечный вентиляционный коллектор - это система вентиляции, осушения и обогрева помещений.

Коллектор работает за счет солнечных лучей, которые попадают на лицевую сторону гелиоприемника. Солнечная панель нагревается, начинается выработка тока, встроенный вентилятор начинает работу, забирает воздух с улицы через специально установленное отверстие, воздух прогревается в гелиоприемнике и

Иzm.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

поступает внутрь помещения. Воздух из помещений за счет поступлений снаружи удаляется через вытяжные отверстия. Внутри системы установлены фильтры очистки воздуха.

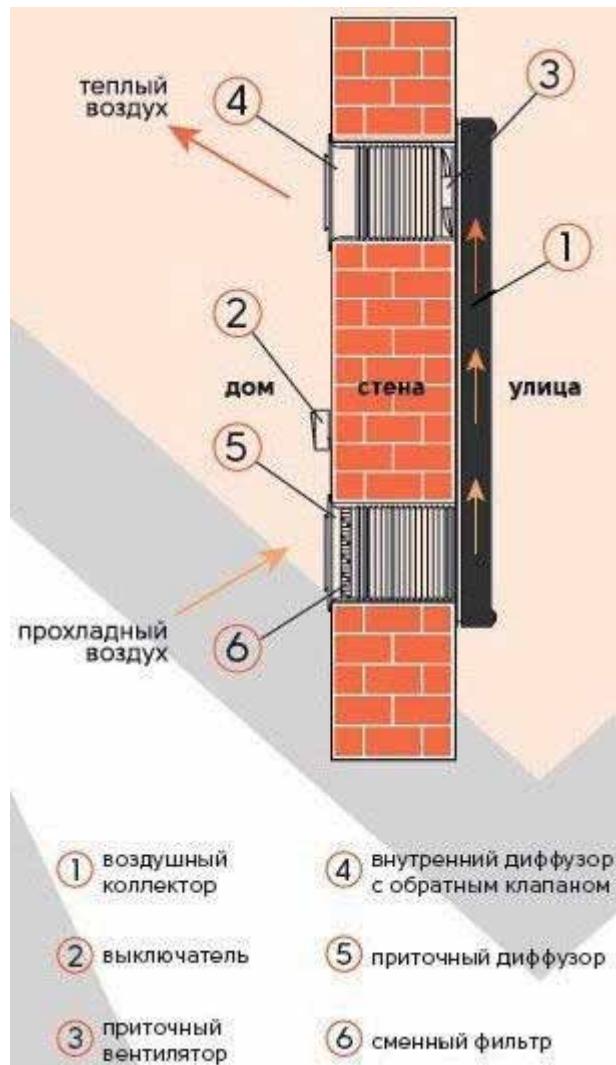


Рисунок 1.19 - Схема работы солнечного вентиляционного коллектора

Солнечный коллектор возможно устанавливать на стене или крыше здания, в зависимости от архитектуры дома или пожеланий заказчика. Следует заметить, что самая эффективная установка оборудования именно на крыше, т.к. крыша менее всего затенена окружающими объектами.

В зависимости от модели и системы удаления и прохождения воздуха через помещение, воздух может нагреваться от 15 до 45°C.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

## **Выводы по разделу 1**

Рассмотрев примеры энергоэффективных зданий в данной главе, можно сказать, что постройка энергоэффективных домов в климатических условиях России доказанный факт. К сожалению, нет известных данных о строительстве пассивных домов на территории России и в том числе на территории Челябинской области.

Проанализировав аналоги, выбраны актуальные методы проектирования энергоэффективных домов. Рассмотрены варианты повышения энергоэффективности жилого дома, проанализированы компоненты домов: система утепления, конструкции стен, коэффициент компактности здания, этажность здания, конструкция кровли. Рассмотрены инженерные системы такие как: рекуператор, грунтовой теплообменник, солнечные батареи. Выявлены все плюсы и минусы данных систем.

Данные для дальнейших расчетов получены.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

## **2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ЗДАНИЯ**

### **2.1 Зависимость теплопотерь здания от показателя компактности здания**

**Расчетный показатель компактности жилых зданий ( $K_{комп}$ )** - это отношение общей площади внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций к отапливаемому объему здания, равному объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений здания.

Расчетный показатель следует определять по формуле:

$$K_{комп} = A_h^{\text{сум}} / V_{\text{от}}, \quad (1)$$

где,  $A_h^{\text{сум}}$  - сумма площадей (по внутреннему обмеру всех наружных ограждений теплозащитной оболочки здания),  $\text{м}^2$ ;

$V_{\text{от}}$  - отапливаемый объем здания, равный объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений здания,  $\text{м}^3$ .

Расчетный показатель компактности жилых зданий  $K_{комп}$ , как правило, не должен превышать следующих нормируемых значений:

**0,25** - для 16-этажных зданий и выше;

**0,29** - для зданий от 10 до 15 этажей включительно;

**0,32** - для зданий от 6 до 9 этажей включительно;

**0,36** - для 5-этажных зданий;

**0,43** - для 4-этажных зданий;

**0,54** - для 3-этажных зданий;

**0,61; 0,54; 0,46** - для двух-, трех- и четырехэтажных блокированных и секционных домов соответственно;

**0,9** - для двух- и одноэтажных домов с мансардой;

**1,1** - для одноэтажных домов.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

## 2.1.1. Прямоугольные здания

Данные для расчета

Размеры здания в осях	Расчетные
Высота этажа здания	3м
Материал стен	Кирпич Газо- пеноблок

A. одноэтажное здание 10x10 м

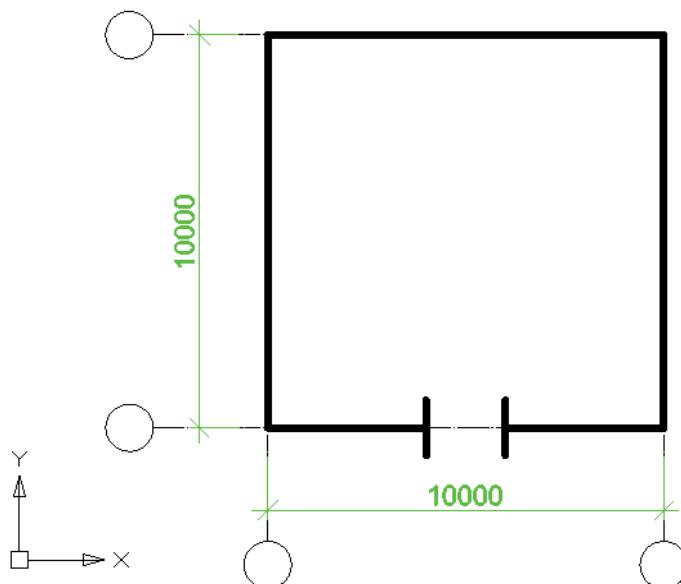


Рисунок 2.1 - Квадратное здание

$$S = 10\text{м} \times 3\text{м} \times 4 + 10\text{м} \times 10\text{м} \times 2 = 320\text{м}^2$$

$$V_{\text{от}} = 10\text{м} \times 10\text{м} \times 3\text{м} = 300\text{м}^3$$

$$K_{\text{комп}} = \frac{320}{300} = 1,06$$

$K_{\text{комп}} = 1,06 \leq 1,1$  (расчетный показатель компактности жилых зданий для одноэтажного индивидуального дома)

Потери тепла через стены рассчитываются по формуле:

$$Q_{\text{стен}} = k_{\text{стен}} \times F_{\text{стен}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{нап}})$$

где  $Q_{\text{стен}}$  - теплопотери, Вт;

$k_{\text{стен}}$  - коэффициент теплопередачи стены, Вт/(м<sup>2</sup>\*°C);

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

$F_{\text{стен}}$  - площадь стены;

$t_{\text{вн}}$  - температура воздуха внутри,  $^{\circ}\text{C}$ ; принимаем  $20^{\circ}$

$t_{\text{нап}}$  - средняя температура наиболее холодной пятидневки,  $^{\circ}\text{C}$ ;

для Челябинска  $-34^{\circ}$

$k_{\text{стен}}$  рассчитывается по формуле:

$$k_{\text{стен}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{\text{нап}}}}$$

где  $\delta_1$  - толщина стены, м;

$\lambda_1$  - коэффициент теплопроводности первого слоя стены,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C})$

$\alpha_{\text{вн}}$  - коэффициент теплоотдачи от внутреннего воздуха к стене; принимаем равным 8,7 по таб. 4 СП 50.13330.2012

$\alpha_{\text{нап}}$  - коэффициент теплоотдачи от стены к наружному воздуху; для наружных стен без воздушной прослойки принимаем равным 23; для наружных стен с воздушной прослойкой (вентилируемый фасад), а также для стен с неотапливаемыми помещениями принимаем равным 12 по таб. 6 СП 50.13330.2012

Принимаем материал стен - керамический пустотный кирпич на цементно-песчаном растворе плотностью  $1400 \text{ кг}/\text{м}^3$ :  $\lambda_1 = 0.58 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C})$

Толщина слоя 510мм. Для простоты пренебрежём сопротивлением теплопередаче слоя штукатурки, покрывающей стены дома изнутри. Таким образом, тепловыделение всех стен дома составит:

$$k_{\text{стен}} = \frac{1}{\frac{1}{8.7} + \frac{0.51}{0.58} + \frac{1}{23}} = 1,04$$

$$F_{\text{стен}} = 10\text{м} \times 3\text{м} \times 4 = 120\text{м}^2$$

$$Q = 1,04 \times 120\text{м}^2 \times (20^{\circ} - (-34^{\circ})) = 6739 \text{ Вт}$$

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

B. одноэтажное здание 14,1x7 м

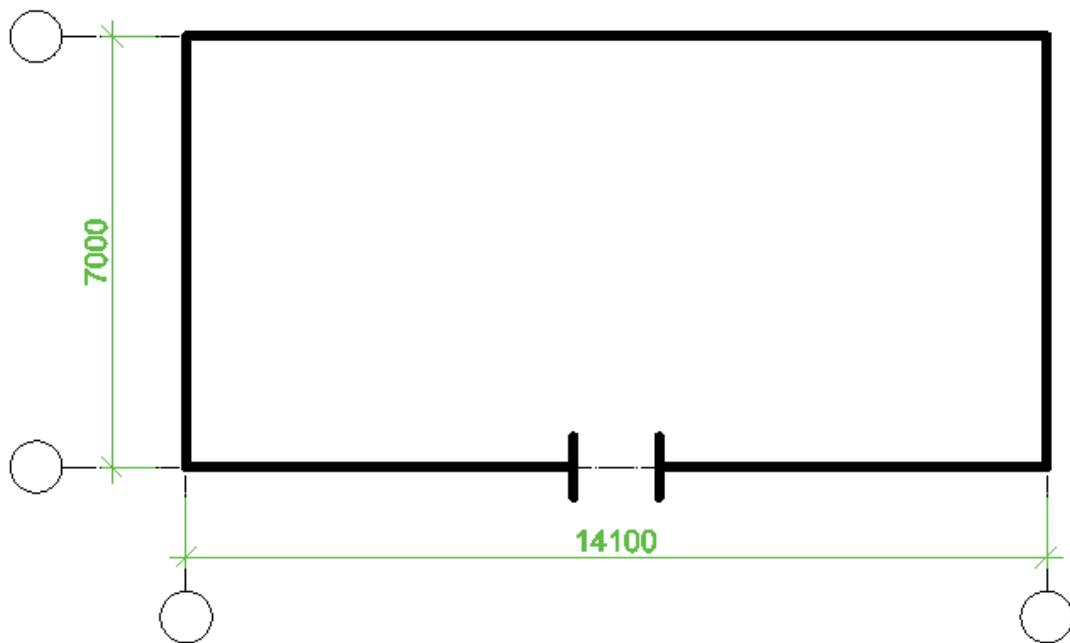


Рисунок 2.2 - Прямоугольное здание

$$S = (7 \text{м} \times 2 + 14,1 \text{м} \times 2) \times 3 \text{м} + 7 \text{м} \times 14,1 \text{м} \times 2 = 324 \text{м}^2$$

$$V_{\text{от}} = 7 \text{м} \times 14,1 \text{м} \times 3 \text{м} = 296,1 \text{м}^3$$

$$K_{\text{комп}} = \frac{324}{296,1} = 1.09$$

$K_{\text{комп}} = 1.09 \leq 1.1$  (расчетный показатель компактности жилых зданий для одноэтажного индивидуального дома)

$$k_{\text{стен}} = \frac{1}{\frac{1}{8,7} + \frac{0,51}{0,58} + \frac{1}{23}} = 1,04$$

$$F_{\text{стен}} = 7 \text{м} \times 3 \text{м} \times 2 + 14,1 \text{м} \times 3 \text{м} \times 2 = 126,6 \text{м}^2$$

$$Q = 1,04 \times 126,6 \text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 7109,85 \text{ Вт}$$

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

C. одноэтажное здание 17,3x5,7 м

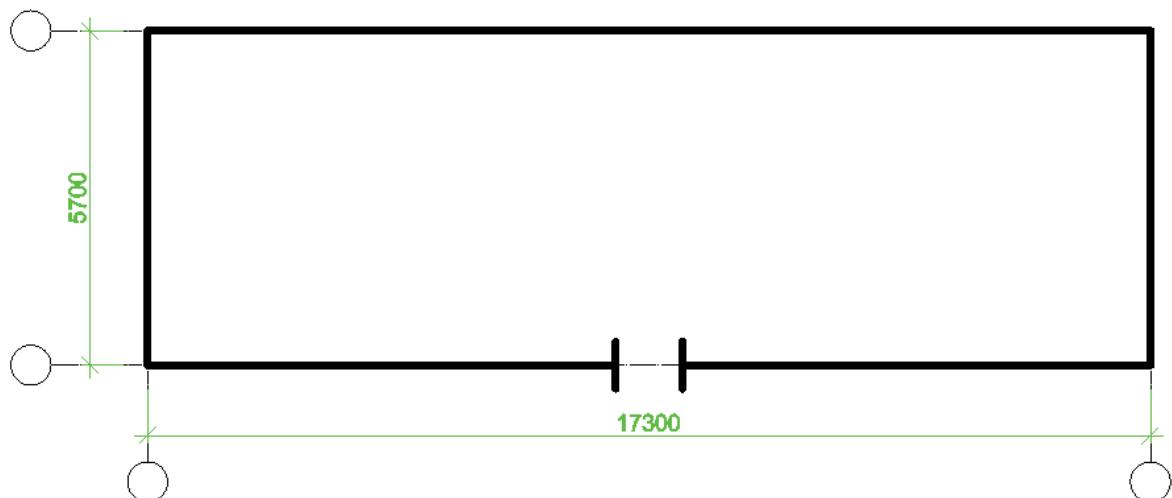


Рисунок 2.3 - Прямоугольное здание

$$S = (5,7\text{м} \times 2 + 17,3\text{м} \times 2) \times 3\text{м} + 5,7\text{м} \times 17,3\text{м} \times 2 = 335,2\text{м}^2$$

$$V_{\text{от}} = 17,3\text{м} \times 5,7\text{м} \times 3\text{м} = 295,83\text{м}^3$$

$$K_{\text{комп}} = \frac{335,2}{295,83} = 1,13$$

$K_{\text{комп}} = 1,13 \leq 1.1$  (расчетный показатель компактности жилых зданий для одноэтажного индивидуального дома)

$$k_{\text{стен}} = \frac{1}{\frac{1}{8,7} + \frac{0,51}{0,58} + \frac{1}{23}} = 1,04$$

$$F_{\text{стен}} = 5,7\text{м} \times 3\text{м} \times 2 + 17,3\text{м} \times 3\text{м} \times 2 = 138\text{м}^2$$

$$Q = 1,04 \times 138\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 7750,1 \text{ Вт}$$

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

## Вывод

Таблица 2.1 - Зависимость увеличения теплопотерь здания от соотношения сторон

	Соотношение сторон	$K_{комп}$	$k_{стен}$	$Q, \text{ Вт}$
1	1:1 (10x10)	1,06	1,04	6739
2	2:1 (14,1x7)	1,09	1,04	7109,85
3	3:1 (17,3x5,7)	1,13	1,04	7750,1

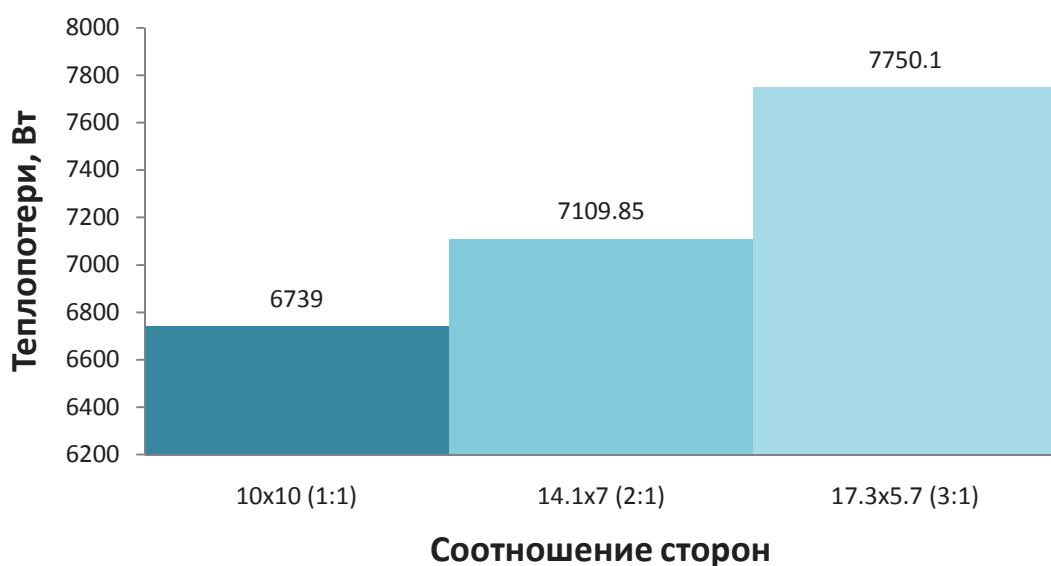


Рисунок 2.4 - График зависимости теплопотерь от соотношения сторон  
прямоугольных домов

Из данного графика видно, что при изменении формы здания от квадратной (соотношение сторон 1:1) к прямоугольной (соотношение сторон 3:1) увеличивается количество теплопотерь здания.

Таким образом, наиболее эффективная форма здания - приближенная к квадрату.

## 2.1.2. Круглые здания

A. круглое здание R 10 м

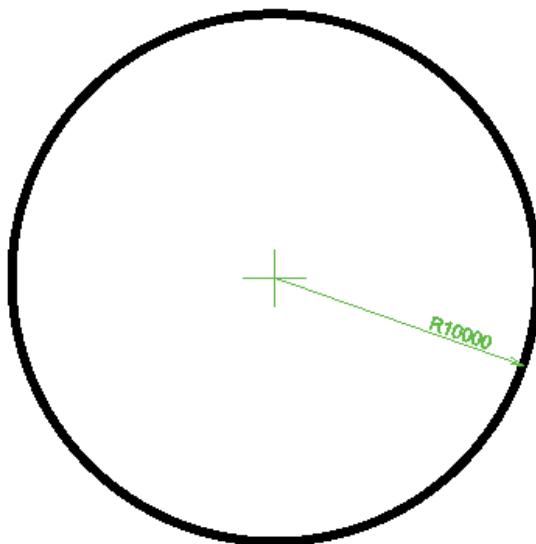


Рисунок 2.5 - Круглое здание

$$S = 2 \times 3.14 \times 10 \times 3 + 3.14 \times 10 \times 10 = 502.4 \text{ м}^2$$

$$V_{\text{от}} = 3.14 \times 10 \times 10 \times 3 = 942 \text{ м}^3$$

$$K_{\text{комп}} = \frac{502.4}{942} = 0.53$$

**$K_{\text{комп}} = 0.53 \leq 1.1$**  (расчетный показатель компактности жилых зданий для одноэтажного индивидуального дома)

$$k_{\text{стен}} = \frac{1}{\frac{1}{8.7} + \frac{0.51}{0.58} + \frac{1}{23}} = 0.96$$

$$F_{\text{стен}} = 2 \times 3.14 \times 10 \times 3 = 188.4 \text{ м}^2$$

$$Q = 0.96 \times 188.4 \text{ м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 9766.6 \text{ Вт}$$

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

B. круглое здание с прямым углом R 10 м

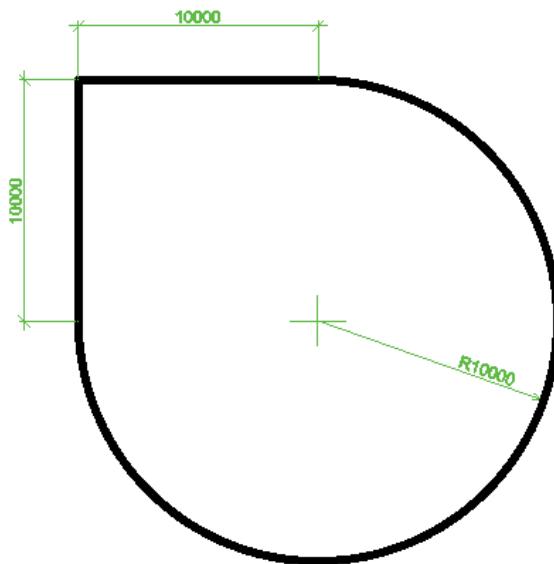


Рисунок 2.6 - Круглое здание с одним прямым углом

$$S = \left( 10 \times 2 + \frac{2 \times 3.14 \times 10 \times 3}{4} \right) \times 3 + \left( 10 \times 10 + \frac{3.14 \times 10 \times 3}{4} \right) \times 2 \\ = 449 \text{ м}^2$$

$$V_{\text{от}} = 10 \times 10 \times 3 + \frac{3.14 \times 10^2 \times 3}{4} = 536.5 \text{ м}^3$$

$$K_{\text{комп}} = \frac{449}{536.5} = 0.836$$

**$K_{\text{комп}} = 0.836 \leq 1.1$**  (расчетный показатель компактности жилых зданий для одноэтажного индивидуального дома)

$$k_{\text{стен}} = \frac{1}{\frac{1}{8.7} + \frac{0.51}{0.58} + \frac{1}{23}} = 0.96$$

$$F_{\text{стен}} = (10 \times 2 + \frac{2 \times 3.14 \times 10 \times 3}{4}) \times 3 = 201.5 \text{ м}^2$$

$$Q = 0.96 \times 201.5 \text{ м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 10445.8 \text{ Вт}$$

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

C. круглое здание с двумя прямыми углами R 10 м

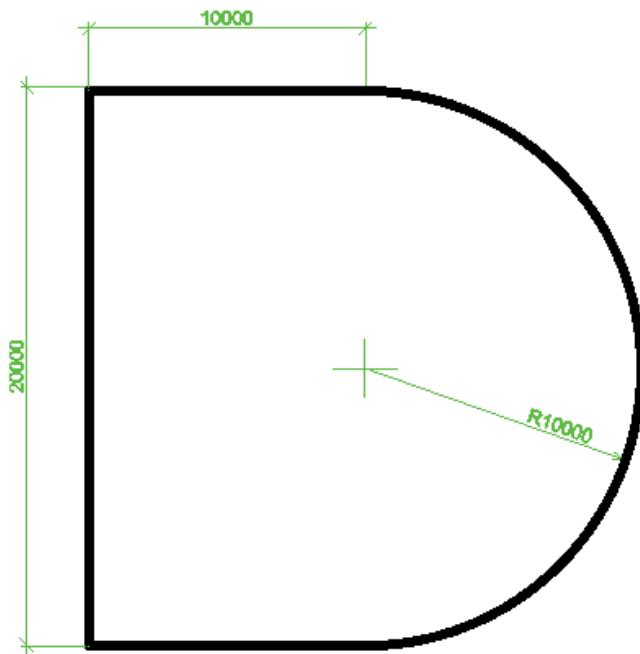


Рисунок 2.7 - Круглое здание с двумя прямыми углами

$$S = \left( 10\text{м} \times 2 + 20\text{м} + \frac{2 \times 3.14 \times 10\text{м}}{2} \right) \times 3\text{м} + \left( 10\text{м} \times 20\text{м} + \frac{3.14 \times 10^2}{2} \right) \times 2 = 928,2\text{м}^2$$

$$V = \left( 10\text{м} \times 20\text{м} + \frac{3.14 \times 10^2}{2} \right) \times 3\text{м} = 1071 \text{ м}^3$$

$$K_{\text{комп}} = \frac{928,2}{1071} = 0,866$$

**$K_{\text{комп}} = 0.866 \leq 1.1$**  (расчетный показатель компактности жилых зданий для одноэтажного индивидуального дома)

$$k_{\text{стен}} = \frac{1}{\frac{1}{8.7} + \frac{0.51}{0.58} + \frac{1}{23}} = 0.96$$

$$F_{\text{стен}} = \left( 10\text{м} \times 2 + 20\text{м} + \frac{2 \times 3.14 \times 10\text{м}}{2} \right) * 3\text{м} = 214.2\text{м}^2$$

$$Q = 0,96 \times 214.2\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 11104,1 \text{ Вт}$$

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

D. круглое здание с тремя прямыми углами R 10 м

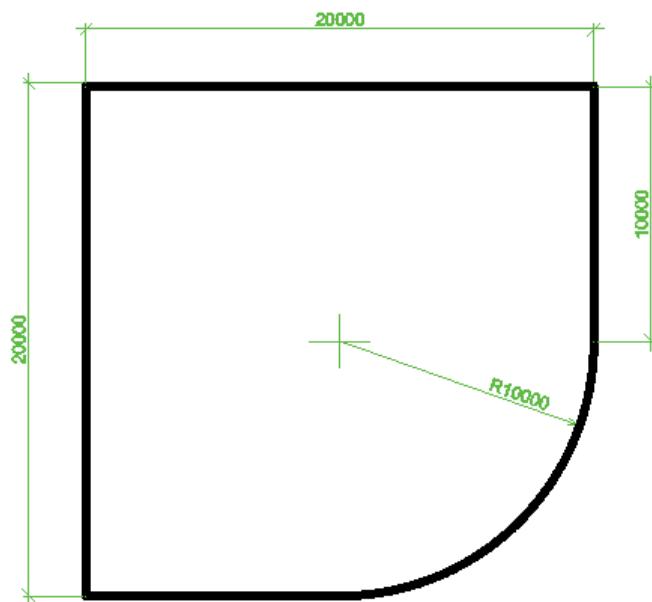


Рисунок 2.8 - Круглое здание с тремя прямыми углами

$$S = \left( 20\text{м} \times 2 + 10\text{м} \times 2 + \frac{2 \times 3.14 \times 10\text{м}}{4} \right) \times 3\text{м}$$

$$+ \left( 10\text{м} \times 20\text{м} + 10 \times 10 + \frac{3.14 \times 10^2}{4} \right) \times 2 = 984,1\text{м}^2$$

$$V = \left( 10\text{м} \times 20\text{м} + 10 \times 10 + \frac{3.14 \times 10^2}{4} \right) \times 3 = 1135,5\text{м}^3$$

$$K_{\text{комп}} = \frac{984,1}{1135,5} = 0.866$$

**K<sub>комп</sub> = 0.866 ≤ 1.1** (расчетный показатель компактности жилых зданий для одноэтажного индивидуального дома)

$$k_{\text{стен}} = \frac{1}{\frac{1}{8.7} + \frac{0.51}{0.58} + \frac{1}{23}} = 0.96$$

$$F_{\text{стен}} = \left( 20\text{м} \times 2 + 10\text{м} \times 2 + \frac{2 \times 3.14 \times 10\text{м}}{4} \right) \times 3\text{м} = 227,1\text{м}^2$$

$$Q = 0,96 \times 227,1\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 11772,8 \text{ Вт}$$

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

E. квадратное здание со стороной 20м

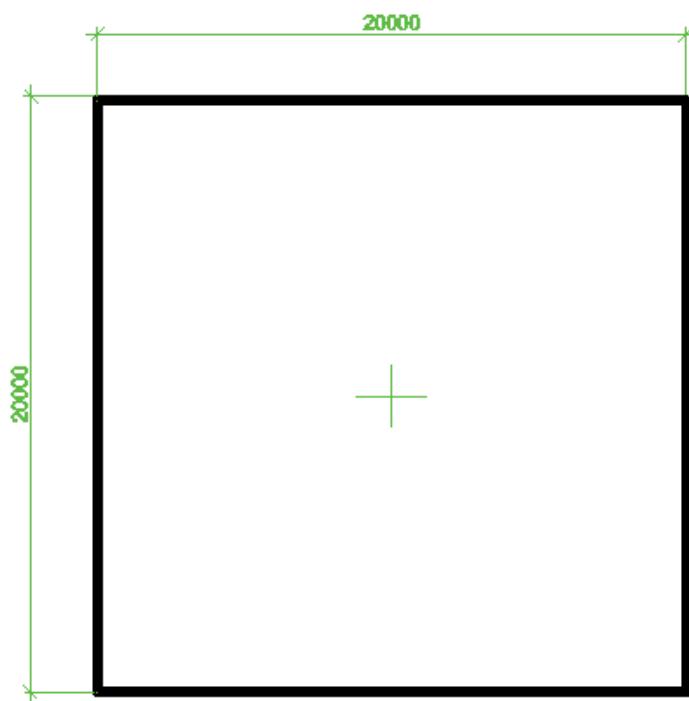


Рисунок 2.9 - Квадратное здание

$$S = 20 \times 3 \times 4 + 20 \times 20 \times 2 = 1040 \text{ м}^2$$

$$V_{\text{от}} = 20 \text{ м} \times 20 \text{ м} \times 3 \text{ м} = 1200 \text{ м}^3$$

$$K_{\text{комп}} = \frac{1040}{1200} = 0,86$$

**$K_{\text{комп}} = 0,86 \leq 1.1$**  (расчетный показатель компактности жилых зданий для одноэтажного индивидуального дома)

$$k_{\text{стен}} = \frac{1}{\frac{1}{8.7} + \frac{0.51}{0.58} + \frac{1}{23}} = 0,96$$

$$F_{\text{стен}} = 20 \text{ м} \times 3 \text{ м} \times 4 = 240 \text{ м}^2$$

$$Q = 0,96 \times 240 \text{ м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 12441,6 \text{ Вт}$$

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

Таблица 2.2 - Зависимость теплопотерь от формы здания

	Соотношение сторон	$K_{комп}$	$k_{стен}$	$Q, \text{ Вт}$
1	круг	0,53	0,96	9766,6
2	3:1	0,836	0,96	10445,8
3	2:2	0,866	0,96	11104,1
4	1:3	0,866	0,96	11772,8
5	квадрат	0,866	0,96	12441,6

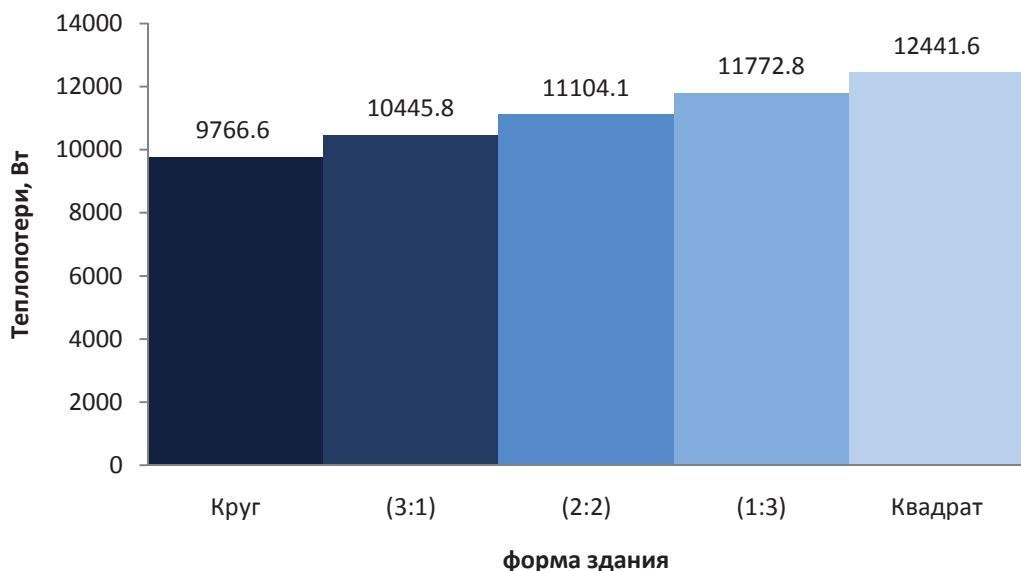


Рисунок 2.10 - График зависимости теплопотерь от формы здания

Из данного графика видно, что при изменении формы здания от круглой к прямоугольной (квадрат) увеличивается количество теплопотерь здания.

При одинаковой площади, периметр ограждающей конструкции круглого в плане здания, меньше, чем у квадратного. Поверхность сферы почти в половину меньше, чем поверхность куба при равной площади основания.

Можно сделать вывод, что самая эффективная форма энергосберегающего здания - круглая.

## 2.2. Зависимость теплопотерь здания от материала и конструкции стены здания

Таблица 2.3 - Зависимость теплопотерь здания от материала и конструкции стены здания

Наименование материала	Плотность исходная, в пределах	Теплопроводность при $(25\pm 5)^\circ\text{C}$ , не более	Водопоглощение по объему
	кг/м <sup>3</sup>	Вт/м*°C	об, %
Экструзионный пенополистирол	26-32	0,029-0,035	0,2
Пенополистирол	15-50	0,028-0,035	
Пенопласт	15-50	0,31-0,33	
Стекловата	15-45	0,038-0,046	
Базальтовая (каменная вата)	30-200	0,035-0,042	
Эковата	30-110	0,032-0,041	
Бетон	500-1800	0,14-0,66	
Газобетон	300-800	0,1-0,3	30
Пенобетон	600-1000	0,1-0,38	
Саманный кирпич	500-1900	0,1-0,4	
Керамический кирпич			
полнотелый	1600-1900	0,56-0,86	
пустотелый	1100-1400	0,31-0,41	
Силикатный кирпич	1100-1900	0,81-0,87	
Дерево	150-2100	0,2-0,23	

Согласно источника [20], целесообразно, принимать сопротивление теплопередаче ( $R_0^{\text{пр}}$ ) равным  $10 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Проведем расчет теплопотерь для стен «Нового дома» (которые строились с 1970-х до 2000 года и имели затраты на отопление не более  $150 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\text{год}$ ) и пассивного дома (не более  $15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\text{год}$ ).

Приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений (раздел 5 [16]):

$$R_0^{\text{пр}} > R_0^{\text{норм}} \quad (2.1)$$

где:

$R_0^{\text{пр}}$  - приведенное значение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;

$R_0^{\text{норм}}$  - нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Нормируемое значение сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций  $R_0^{\text{норм}}$  (формула 5.1 [16]) определяется из условия:

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{tp}} m_p \quad (2.2)$$

где:

$R_0^{\text{tp}}$  - базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;

$m_p = 1,0$  - коэффициент учитывающий особенности региона строительства.

Базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче,  $R_0^{\text{tp}}$ , стен и покрытия определяется из условия (примечание 1 таблицы 3 [16]):

$$R_0^{\text{tp}} = a \cdot \Gamma \text{СОП} + b \quad (2.3)$$

a - коэффициент по таблице 2.3;

b - коэффициент по таблице 2.3;

$\Gamma \text{СОП}$  - градусо-сутки отопительного периода,  $^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$ .

Градусо-сутки отопительного периода (формула 5.2 [16]) находится по формуле:

$$\Gamma \text{СОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) z_{\text{от}} \quad (2.4)$$

где (данные приняты для Челябинской области по г. Челябинск):

$t_{\text{в}} = 20$  - внутренняя температура помещений,  $^\circ\text{C}$ ;

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

$t_{\text{от}} = -6,4$  - средняя температура воздуха в отопительный период,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $z_{\text{от}} = 234$  - продолжительность отопительного периода, сут.

Приведенное сопротивление теплопередачи ограждающей конструкции  $R_0^{\text{np}}$ , определяется исходя из формулы Е.4 [16] с учетом неоднородности ограждающих конструкций:

$$r = \frac{R_0^{\text{np}}}{R_0^{\text{ycl}}} \quad (2.5)$$

где:

$r$  - коэффициент теплотехнической однородности.  
 $R_0^{\text{ycl}}$  - условное сопротивление теплопередачи,  $\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ ;

Из формулы (3.5), приведенное сопротивление теплопередачи  $R_0^{\text{np}}$ , будет равно:

$$R_0^{\text{np}} = R_0^{\text{ycl}} r \quad (2.6)$$

Условное сопротивление теплопередачи  $R_0^{\text{ycl}}$  (формула Е.6 [16]) находится по формуле:

$$R_0^{\text{ycl}} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_s R_s + \frac{1}{\alpha_H} \quad (2.7)$$

где:

$\alpha_B$  - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности (таблица 4[16]),  $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ ;  
 $\alpha_H$  - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности (таблица 4[16]),  $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ ;  
 $\sum_s R_s$  - суммарное термическое сопротивление всех слоев ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ .

Термическое сопротивление одного слоя конструкции (формула Е.7 [16]):

$$R_s = \frac{\delta_s}{\lambda_s} \quad (2.8)$$

где:

$\delta_s$  - толщина слоя, м;  
 $\lambda_s$  - теплопроводность;  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

Подставляя формулы (3.8) и (3.7) в формулу (3.6), приведенное сопротивление теплопередачи стены  $R_0^{\text{пр}}$  будет равно:

$$R_0^{\text{пр}} = \left( \frac{1}{\alpha_b} + \sum_s \frac{\delta_s}{\lambda_s} + \frac{1}{\alpha_h} \right) r \quad (2.9)$$

Требуется, определить толщину стены из **керамического пустотного кирпича плотностью 1400 кг/м<sup>3</sup> на цементно-песчаном растворе.**

### Новый дом

$$R_0^{\text{пр}} = a \cdot \Gamma \text{СОП} + b$$

$$\Gamma \text{СОП} = (20 - (-6,4)) \times 234 = 6177,6 \text{ м}^2 \text{°C}/\text{Вт}$$

$$R_0^{\text{пр}} = 0,00035 \times 6177,6 + 1,4 = 3,56 \text{ м}^2 \text{°C}/\text{Вт}$$

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{пр}} \times m_p$$

$$R_0^{\text{норм}} = 3,56 \times 1 = 3,56 \text{ м}^2 \text{°C}/\text{Вт}$$

$$\text{Примем, } R_0^{\text{пр}} > R_0^{\text{пр}}, R_0^{\text{пр}} = 3,57 \text{ м}^2 \text{°C}/\text{Вт}$$

Согласно [5]  $r$  - коэффициент теплотехнической однородности для сплошной кладки из пустотелого камня равен 0,97.

Толщину стены примем за  $x$ , получаем:

$$3,57 = \left( \frac{1}{8,7} + \frac{x}{0,58} + \frac{1}{23} \right) \times 0,97, \text{ отсюда получаем } x = 2 \text{ м}$$

### Пассивный дом

$$\text{Примем, } R_0^{\text{пр}} > R_0^{\text{пр}}, R_0^{\text{пр}} = 10 \text{ м}^2 \text{°C}/\text{Вт}$$

$$10 = \left( \frac{1}{8,7} + \frac{x}{0,58} + \frac{1}{23} \right) \times 0,97, \text{ отсюда получаем } x = 5,8 \text{ м}$$

Требуется, определить толщину стены из **газо- и пенобетона на цементном вяжущем.**

### Новый дом

Согласно [2]  $r$  - коэффициент теплотехнической однородности для сплошной кладки из крупноформатных пустотелых пористых керамических камней равен 0,98.

Толщину стены примем за  $x$ , получаем:

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

$$3,57 = \left( \frac{1}{8,7} + \frac{x}{0,38} + \frac{1}{23} \right) \times 0,98, \text{ отсюда получаем } x = 1,3 \text{ м}$$

### Пассивный дом

Примем,  $R_o^{\text{пр}} > R_o^{\text{тр}}$ ,  $R_o^{\text{пр}} = 10 \text{ м}^2 \text{°C}/\text{Вт}$

$$10 = \left( \frac{1}{8,7} + \frac{x}{0,38} + \frac{1}{23} \right) \times 0,98, \text{ отсюда получаем } x = 3,8 \text{ м}$$

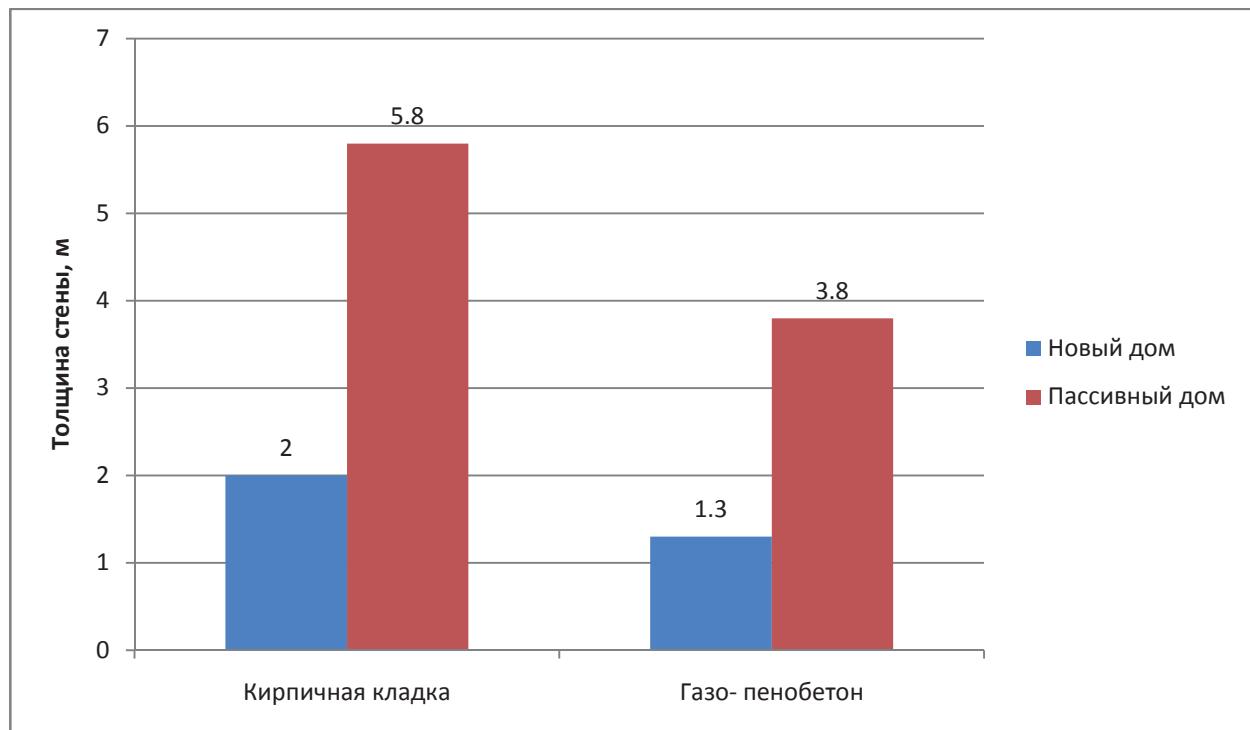


Рисунок 2.11 - Толщина стены зданий из различных материалов

Таким образом, можно сделать вывод, что применение газо- пенобетона при проектировании пассивного дома является более оправданным. Но применение однородной конструкции стены увеличивает затраты на строительство и повышает затраты на технологию производства такой стены.

Проведем расчет слоистой конструкции на основе кирпичной кладки и газо- пенобетона.

Примем стандартную толщину несущего конструктивного слоя **кирпичной кладки - 380 мм. И облицовку декоративной штукатуркой (в расчете можно пренебречь)**. По расчету определим толщину слоя теплоизоляции. В качестве теплоизоляционного слоя примем плиты минераловатные из каменного волокна.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

## Новый дом

Согласно [2]  $r$  - коэффициент теплотехнической однородности для сплошной кладки из пустотелого камня равен 0,97.

Толщину утеплителя примем за  $x$ , получаем:

$$3,57 = \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,38}{0,58} + \frac{x}{0,042} + \frac{1}{23} \right) \times 0,97, \text{ отсюда получаем } x = 0,120 \text{ м}$$

Округлением принимаем слой утеплителя равным 120 мм

Общая толщина конструкции 500 мм

## Пассивный дом

Согласно [2]  $r$  - коэффициент теплотехнической однородности для сплошной кладки из пустотелого камня равен 0,97.

Толщину утеплителя примем за  $x$ , получаем:

$$10 = \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,38}{0,58} + \frac{x}{0,042} + \frac{1}{23} \right) \times 0,97, \text{ отсюда получаем } x = 0,398 \text{ м}$$

Округлением принимаем слой утеплителя равным 400 мм

Общая толщина конструкции 780 мм

Примем стандартную толщину несущего конструктивного слоя из газо-пеноблока - 400 мм. И облицовку декоративной штукатуркой (в расчете можно пренебречь). По расчету определим толщину слоя теплоизоляции. В качестве теплоизоляционного слоя примем плиты минераловатные из каменного волокна.

## Новый дом

Согласно [2]  $r$  - коэффициент теплотехнической однородности для сплошной кладки из крупноформатных пустотелых пористых керамических камней равен 0,98.

$$3,57 = \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,4}{0,38} + \frac{x}{0,042} + \frac{1}{23} \right) \times 0,98, \text{ отсюда получаем } x = 0,102 \text{ м}$$

Округлением принимаем слой утеплителя равным 130 мм

Общая толщина конструкции 530 мм

## Пассивный дом

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

Согласно [2]  $r$  - коэффициент теплотехнической однородности для сплошной кладки из пустотелого камня равен 0,98.

Толщину утеплителя примем за  $x$ , получаем:

$$10 = \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,4}{0,38} + \frac{x}{0,042} + \frac{1}{23} \right) \times 0,98, \text{ отсюда получаем } x = 0,377 \text{ м}$$

Округлением принимаем слой утеплителя равным 400 мм

Общая толщина конструкции 800 мм

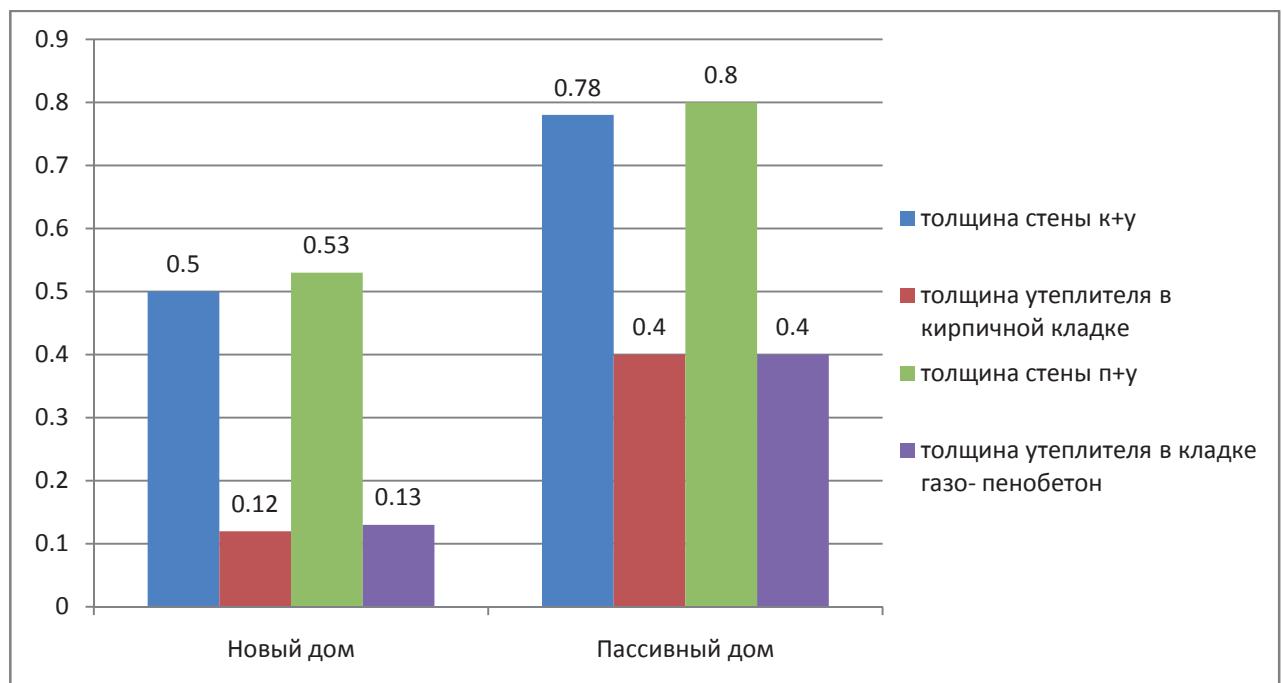


Рисунок 2.12 - Конструкция многослойной стены зданий из различных материалов

Среди наиболее распространенных строительных материалов (конструктивная часть стены) наименьший коэффициент теплопроводности имеет Газобетон (0,1-0,3 Вт/м\*°C) и Пенобетон (0,1-0,38 Вт/м\*°C).

При расчете количества утеплителя, наименьший объем минеральной ваты применяется в конструкции стены "Газо- пенобетон - утеплитель - штукатурка" в конструкции стены для Нового дома и для Пассивного дома.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

Наиболее целесообразно, для дальнейшего проектирования пассивного дома использовать многослойную конструкцию стены: Газо- пенобетон 400 мм, Минеральная вата 350 мм и Декоративная штукатурка.

Сравним стоимость квадратного метра стены из различных материалов.

При средней цене 1 кирпича - 6,92 руб, пеноблока - 59,07 руб за штуку. Цена утеплителя (минеральная вата) - 261,8 за кв.м.

Таблица 2.4 - Стоимость квадратного метра стены из различных материалов

	<b>Новый дом</b>	<b>Пассивный дом</b>
<b>Кирпич - утеплитель - кирпич</b>	$134,94 + 290,6 = \mathbf{425,54}$	$134,94 + 1047,2 = \mathbf{1182,14}$
<b>Газо- пенобетон - утеплитель - кирпич</b>	$378 + 261,8 = \mathbf{639,8}$	$378 + 916,3 = \mathbf{1294,3}$

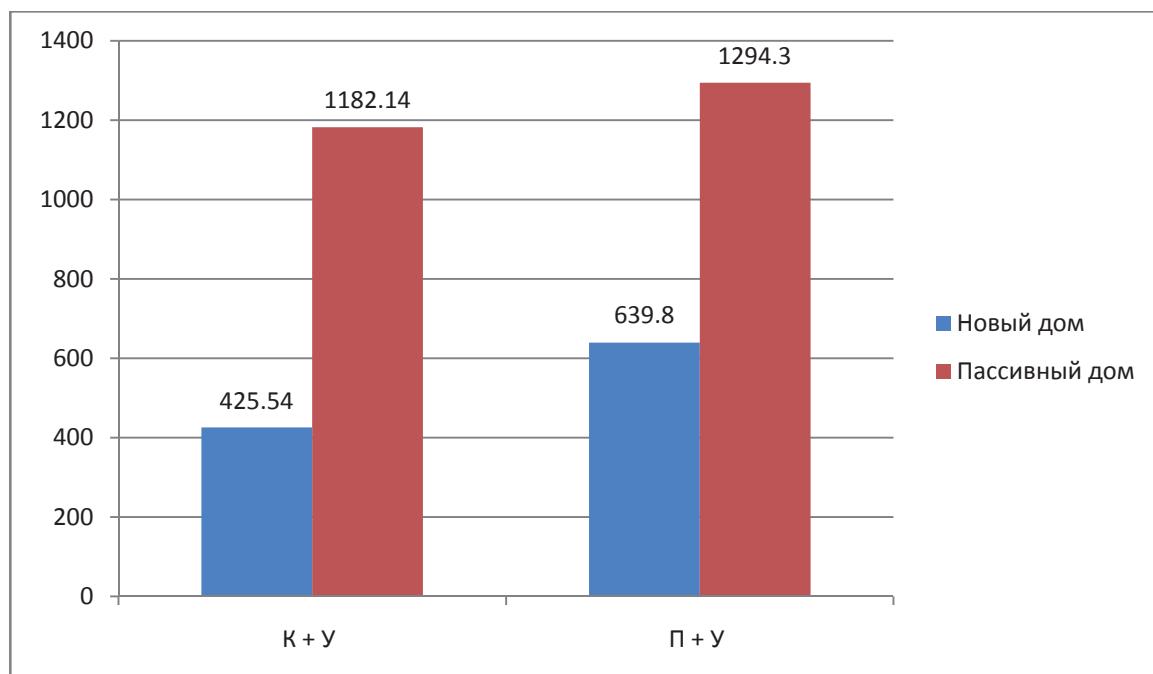


Рисунок 2.13 - Стоимость стены зданий из различных материалов

Согласно приведенной диаграмме, мы можем видеть, что затраты на конструкцию стены пассивного дома превосходят затраты на конструкцию стены нового дома в кирпичной кладке в 2,7 раз, а в кладке из газо- пенобетона в 2 раза.

Таким образом, при расчете стоимости стены можно сделать вывод, что затраты на строительство пассивного дома намного существеннее, чем затраты на строительство нового дома. При дальнейших расчетах необходимо провести анализ окупаемости первоначальных затрат с учетом теплопотерь данных конструкций и затрат на дальнейшее отопление жилого дома.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

## 2.3. Влияние площади остекления на теплопотери здания

В стандартном здании площадь остекления составляет порядка 18-20%.

Даже самые современные светопропускающие конструкции имеют более высокие коэффициенты теплопередачи, чем непрозрачные стены или кровли. Остекление, увеличенное с целью большего пассивного использования, приводит к большим теплопотерям здания.

Наиболее эффективные для пассивного дома коэффициенты теплопередачи должны быть приближены к  $k_{\text{остекления}} = 0,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 * ^\circ\text{C})$ .

Таблица 2.5 - Характеристики остекления

	<b>2 стекла</b>	<b>3 стекла</b>	<b>2 стекла с низкоэмиссионным покрытием с заполнением аргоном</b>	<b>3 стекла с двумя слоями низкоэмиссионного покрытия с заполнением криптонитом или аргоном</b>
<b>Коэффициент теплопередачи <math>k_{\text{остекления}}</math></b>	5,6 Вт/(\text{м}^2 * ^\circ\text{C})	2,8 Вт/(\text{м}^2 * ^\circ\text{C})	1,1...1,4 Вт/(\text{м}^2 * ^\circ\text{C})	0,5...0,8 Вт/(\text{м}^2 * ^\circ\text{C})
<b>Температура на внутренней поверхности стекла, <math>^\circ\text{C}</math></b>	1,8	9,1	14,5	17,0
<b>Коэффициент общего пропускания солнечной энергии</b>	0,85	0,76	0,55-0,68	0,45-0,57

Примем для расчета трехслойную стену площадью 30м<sup>2</sup>:

- 400 мм Блоки ячеистые ГОСТ 31360-2007 (ГОСТ 21520-89)
- 100 мм ГОСТ 9573-2012 Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем теплоизоляционные.
- Декоративный штукатурный слой

Потери тепла через стены рассчитываются по формуле:

$$Q_{\text{стен}} = k_{\text{стен}} \times F_{\text{стен}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}})$$

где  $Q_{\text{стен}}$  - теплопотери, Вт;

$k_{\text{стен}}$  - коэффициент теплопередачи стены, Вт/(м<sup>2</sup>\*°C);

$F_{\text{стен}}$  - площадь стены;

$t_{\text{вн}}$  - температура воздуха внутри, °C; принимаем 20°

$t_{\text{нар}}$  - средняя температура наиболее холодной пятидневки, °C;

для Челябинска -34°

$k_{\text{стен}}$  рассчитывается по формуле:

$$k_{\text{стен}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{\text{нар}}}}$$

где  $\delta_1$  - толщина стены, м;

$\lambda_1$  - коэффициент теплопроводности первого слоя стены, Вт/(м<sup>2</sup> °C)

$\alpha_{\text{вн}}$  - коэффициент теплоотдачи от внутреннего воздуха к стене; принимаем равным 8,7 по таб. 4 [16]

$\alpha_{\text{нар}}$  - коэффициент теплоотдачи от стены к наружному воздуху; для наружных стен без воздушной прослойки принимаем равным 23; для наружных стен с воздушной прослойкой (вентилируемый фасад), а также для стен с неотапливаемыми помещениями принимаем равным 12 по таб. 6 [16].

$$k_{\text{стен}} = \frac{1}{\frac{1}{8.7} + \frac{0.4}{0.38} + \frac{0.10}{0.042} + \frac{1}{23}} = 0,263$$

$$Q = 0.263 \times 30\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 426,44 \text{ Вт}$$

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

Расчет теплопотерь для окна с 2 стеклами

$$Q = 5,6 \times 3\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 907,2 \text{ Вт}$$

$$Q = 5,6 \times 6\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 1814,4 \text{ Вт}$$

$$Q = 5,6 \times 9\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 2721,6 \text{ Вт}$$

$$Q = 5,6 \times 12\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 3628,8 \text{ Вт}$$

$$Q = 5,6 \times 15\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 4536 \text{ Вт}$$

Расчет теплопотерь для окна с 3 стеклами

$$Q = 2,8 \times 3\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 453,6 \text{ Вт}$$

$$Q = 2,8 \times 6\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 907,2 \text{ Вт}$$

$$Q = 2,8 \times 9\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 1360,8 \text{ Вт}$$

$$Q = 2,8 \times 12\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 1814,4 \text{ Вт}$$

$$Q = 2,8 \times 15\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 2268 \text{ Вт}$$

Расчет теплопотерь для окна с 2 стеклами с низкоэмиссионным покрытием с заполнением аргоном

$$Q = 1,4 \times 3\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 226,8 \text{ Вт}$$

$$Q = 1,4 \times 6\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 453,6 \text{ Вт}$$

$$Q = 1,4 \times 9\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 680,4 \text{ Вт}$$

$$Q = 1,4 \times 12\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 907,2 \text{ Вт}$$

$$Q = 1,4 \times 15\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 1134 \text{ Вт}$$

Расчет теплопотерь для окна с 3 стеклами с двумя слоями низкоэмиссионного покрытия с заполнением криптонитом или аргоном

$$Q = 0,8 \times 3\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 129,6 \text{ Вт}$$

$$Q = 0,8 \times 6\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 259,2 \text{ Вт}$$

$$Q = 0,8 \times 9\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 388,8 \text{ Вт}$$

$$Q = 0,8 \times 12\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 518,4 \text{ Вт}$$

$$Q = 0,8 \times 15\text{м}^2 \times (20^\circ - (-34^\circ)) = 648 \text{ Вт}$$

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

Выполним расчет теплопотерь стены в зависимости от площади, занимаемого остекления

$3 \text{ м}^2$	10% остекления	383,8 Вт
$6 \text{ м}^2$	20% остекления	341,15 Вт
$9 \text{ м}^2$	30% остекления	298,5 Вт
$12 \text{ м}^2$	40% остекления	255,86 Вт
$15 \text{ м}^2$	50% остекления	213,22 Вт

Таблица 2.6 - Теплопотери стены в зависимости от процента остекления

	<b>2 стекла</b>	<b>3 стекла</b>	<b>2 стекла с низкоэмиссионным покрытием с заполнением аргоном</b>	<b>3 стекла с двумя слоями низкоэмиссионного покрытия с заполнением криптонитом или аргоном</b>
<b>0%</b>	426,44	426,44	426,44	426,44
<b>10%</b>	1291	837,4	610,6	513,4
<b>20%</b>	2155,5	1248,35	794,75	600,35
<b>30%</b>	3010,1	1659,3	978,9	687,3
<b>40%</b>	3884,66	2070,26	1163,1	774,26
<b>50%</b>	4749,22	2481,22	1347,2	861,22

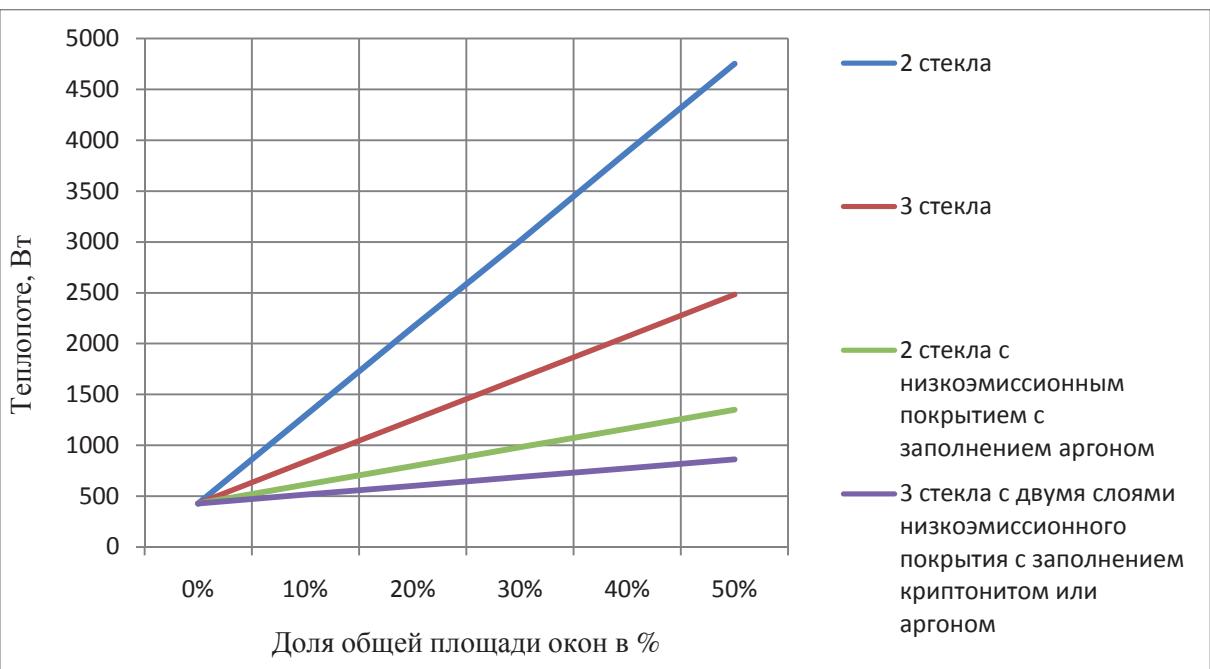


Рисунок 2.14 - Зависимость теплопотерь от площади окон

Но при проектировании светопрозрачных конструкций следует учитывать не только теплопотери, но и теплопоступления от окон, расположенных на южном фасаде здания.

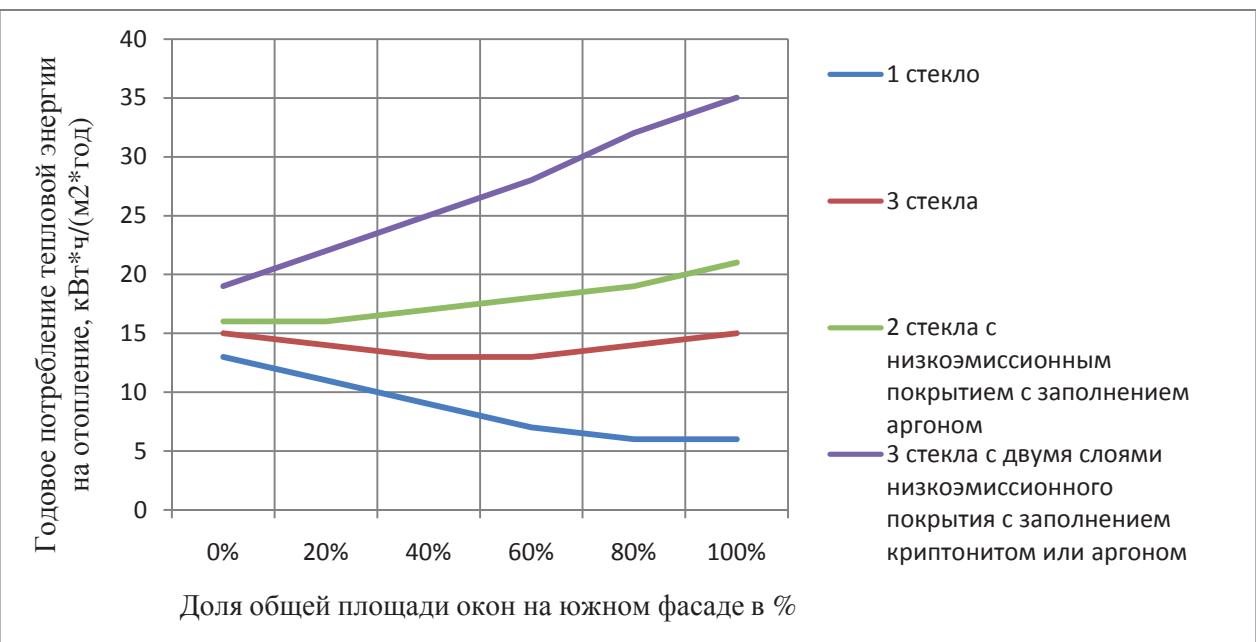


Рисунок 2.15 - Зависимость теплопоступлений от окон, расположенных на южном фасаде здания

## **Вывод**

Как видно из графиков, качество остекления является более важной характеристикой, чем количество (доля остекления от общей площади фасадов).

Теплопотери через светопрозрачные конструкции должны быть незначительными. Остекление должно иметь высокую пропускающую способность и низкий коэффициент теплопередачи.

Оценим влияние теплопотерь через окна на стоимость данных оконных блоков.

Тепловые потери определяются при  $\Delta T = -54^\circ\text{C}$  ( $t_{\text{нар}} = 20^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{вн}} = -34^\circ\text{C}$ )

Таблица 2.7 - Влияние теплопотерь здания через окна на стоимость окон

	<b>2 стекла</b>	<b>3 стекла</b>	<b>2 стекла с низкоэмиссионным покрытием с заполнением аргоном</b>	<b>3 стекла с двумя слоями низкоэмиссионного покрытия с заполнением криптонитом или аргоном</b>
<b>Приведенное сопротивление теплопередаче (<math>\text{м}^2 * ^\circ\text{C}</math>)/Вт;</b>	0,38	0,51	0,65	0,82
<b>Процентное соотношение, % (за 0% принят оконный блок 1 типа)</b>	0	34	71	115
<b>Стоимость окна,</b>	2605	3203	3949	5168

руб/м <sup>2</sup>				
<b>Увеличение стоимости, %</b>	0	23	51	98

Стоимость оконных блоков принята по сборнику цен ЧелСЦена, 2017 или по каталогам цен производителя оконных блоков.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

## 2.4. Влияние системы вентиляции на теплопотери и теплопоступления здания

Свежий воздух - это главная составляющая хорошего самочувствия жильцов дома и возможность обеспечения комфортного микроклимата в помещениях.

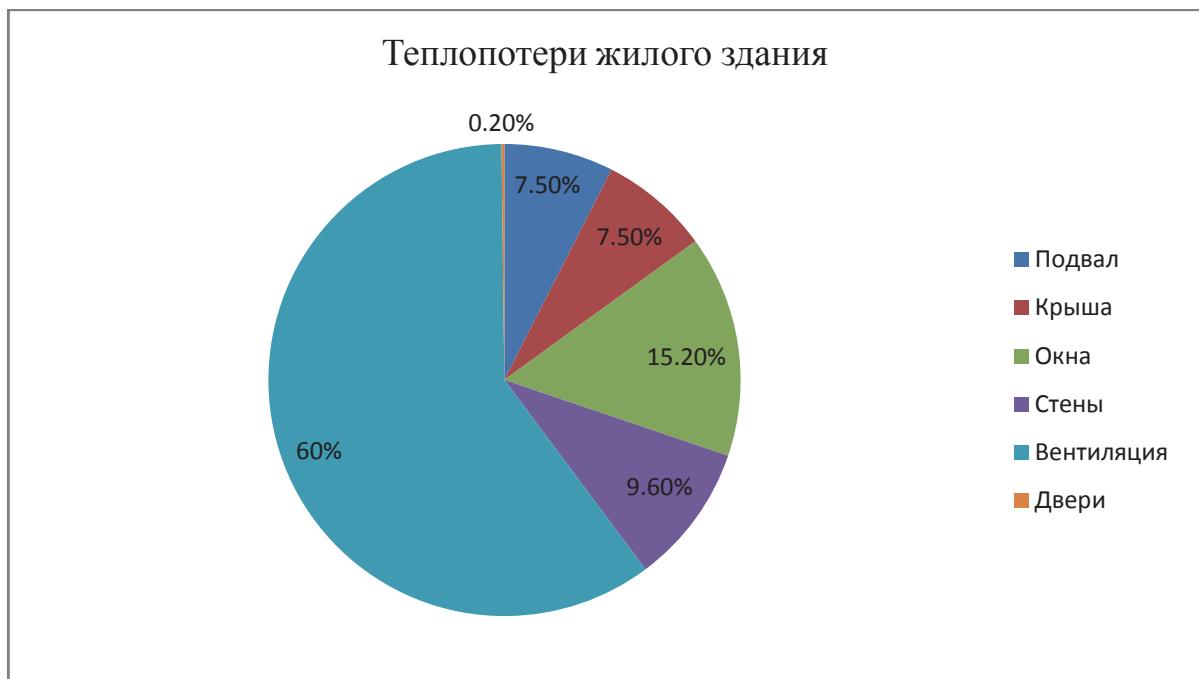


Рисунок 2.16 - Общие теплопотери жилого здания

Для пассивных зданий не допустимы теплопотери через систему вентиляции. В документе [20] определены основные положения системы вентиляции в пассивном доме:

1. Рекуперация тепла должна быть высокоэффективной. Для возврата тепла (КПД) рекуператора должна составлять более 75%.
2. Потребление электроэнергии для вентиляции должно сохраняться на небольшом уровне. Контрольное значение составляет - 0,3...0,45 Вт общей мощности на требуемый  $1\text{м}^3$  воздушного объема в час. При правильном проектировании помещения, из которых удаляется вытяжной воздух, находятся относительно близко друг к другу, а помещения с приточным воздухом расположены компактно.

По современным стандартам необходимо чтобы воздух в жилом помещении сменялся хотя бы 1 раз в час, т.е. кол-во сменяемого воздуха должно равняться

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

внутреннему объему дома. Объем - произведение площади помещений на высоту потолков. Для примера проведем расчет для жилого одноэтажного дома 10x10 м с высотой потолков 3 м. Для такого дома необходимо  $3 \text{ м}^3/\text{час}$  на квадратный метр площади свежего наружного воздуха.

Удельная теплоёмкость воздуха – это количество теплоты, необходимое для повышения температуры 1 кг вещества на  $1^\circ\text{C}$  – равна примерно 1,01 кДж/кг $^\circ\text{C}$ . При этом плотность воздуха в интересующем нас диапазоне температур составляет примерно  $1,25 \text{ кг}/\text{м}^3$ , т.е. масса 1 его кубометра равна 1,25 кг. Таким образом, для нагрева воздуха на  $21 - (-34) = 55^\circ\text{C}$  на каждый квадратный метр площади потребуется:

$$1,01 \text{ кДж}/\text{кг}^\circ\text{C} \times 1,25 \text{ кг}/\text{м}^3 \times 3 \text{ м}^3/\text{час} \times 55^\circ\text{C} = 208,3 \text{ кДж}/\text{час}$$

Для дома площадью  $100 \text{ м}^2$  это будет:

$$208,3 \times 100 = 20830 \text{ кДж}/\text{час} = 5,78 \text{ кВт}$$

Если мы обеспечим приток холодного воздуха по необходимым нормам и будем вытеснять таким образом теплый воздух из помещения, то мы получим тепловые потери равные 5,78 кВт, что в разы больше, чем теплопотери через ограждающие конструкции и окна жилого дома.

Для более эффективного расходования тепловой энергии системы вентиляции необходимо применять рекуператор тепла, с КПД не менее 75%.

Таким образом, применяя систему рекуперации тепла возможно сократить теплопотери до 1440 Вт.

Проведем сравнение систем вентиляции.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

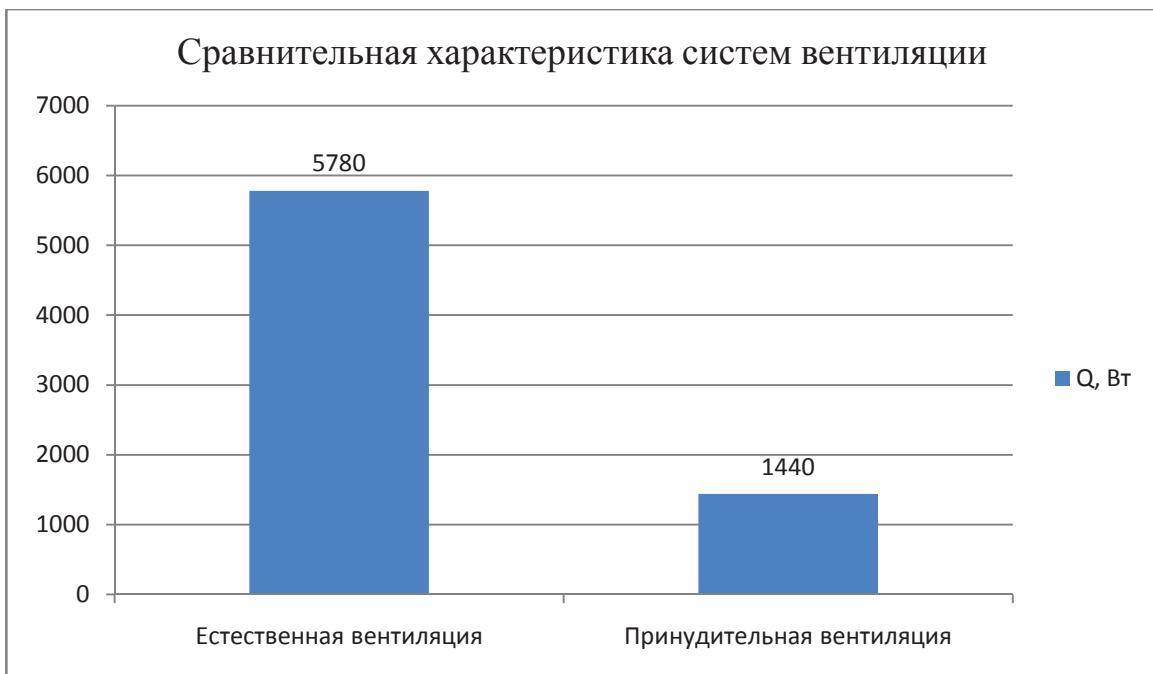


Рисунок 2.17 - Теплопотери жилого здания через систему вентиляции

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

## **Выводы по разделу 2**

Как показал анализ аналогов во многом энергоэффективность здания зависит от его формы. Решающим фактором при определении формы здания служит коэффициент компактности. Исходя из проведенных исследований выявлено, что при изменении формы здания от круглой к прямоугольной (квадрат) увеличивается количество теплопотерь здания.

При одинаковой площади, периметр ограждающей конструкции круглого в плане здания, меньше, чем у квадратного. Поверхность сферы почти в половину меньше, чем поверхность куба при равной площади основания.

Можно сделать вывод, что самая эффективная форма энергосберегающего здания - круглая. Но здание круглой формы технологически сложнее выполнить, увеличиваются затраты на строительство. Следовательно, для дальнейших расчетов принимается здание квадратной формы.

Проведены расчетные исследования по определению наиболее эффективных материалов для конструкции стены и ее утепления. Для расчетов принимались два материала: керамический пустотный кирпич плотностью 1400 кг/м<sup>3</sup> на цементно-песчаном растворе и пеногазобетон на цементном растворе. Расчеты показали, что наиболее выгодный материал для проектирования пассивного дома - это пеногазобетон.

Затраты на конструкцию стены пассивного дома превосходят затраты на конструкцию стены обычного дома в кирпичной кладке в 2,7 раз, а в кладке из газо- пенобетона в 2 раза. Что отразится на экономических затратах на строительство пассивного дома.

Исследование степени остекления фасадов показало, что качество остекления является более важной характеристикой, чем количество (доля остекления от общей площади фасадов). Правильная ориентация фасадов и окон по сторонам света помогает получить наибольший эффект при дополнительном отоплении солнечной радиацией помещений.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

Для пассивного дома теплопотери через светопрозрачные конструкции должны быть незначительными. Остекление должно иметь высокую пропускающую способность и низкий коэффициент теплопередачи.

Еще один важный фактор при проектировании системы Пассивный дом - это вентиляция здания. Поскольку пассивный дом является полностью герметичной системой, то система вентиляции должна обеспечивать комфортную среду для проживания людей, без необходимости открывания окон и устройства сквозняков. Вентиляция должна быть устроена таким образом, чтобы холодный воздух не попадал непосредственно в помещение, а подогревался до момента поступления внутрь дома. Данные проблемы решает система принудительной вентиляции с рекуперацией тепла. В такой системе обязательно устанавливается воздушный фильтр, который очищает поступающий воздух до попадания его внутрь помещения. Так же система с рекуперацией тепла позволяет снизить теплопотери через вентиляцию.

Иzm.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

### 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗДАНИЯ

#### 3.1 Оценка и обоснование составляющих элементов системы энергоснабжения

##### 3.1.1 Целесообразность применения солнечных коллекторов для системы отопления пассивного дома в условиях климата Челябинской области

Отопление здания с помощью солнечных коллекторов в климатических условиях Челябинской области не изучено. Данная система только начинает активно использоваться и происходит ввод в эксплуатацию. Данные возможно получить путем математической модели.

Стоить заметить, что при климатических характеристиках нашей области ясных дней почти в 7 раз меньше, чем пасмурных.

Число ясных и облачных дней в году определяется согласно таблице.

Таблица 3.1 - Количество ясных и облачных дней в году

	ян вар ь	фе вра ль	ма рт	ап рель	ма й	ию нь	ию ль	авг уст	сен тябр ь	окт ябр ь	но ябр ь	дек абр ь	год
Общая облачность													
ясных	3	5	3	3	3	1	2	1	3	2	1	3	30
облачных	17	15	8	16	19	21	22	22	17	15	14	15	211
пасмурн.	11	8	10	11	9	8	7	8	10	14	15	13	124
Нижняя облачность													
ясных	20	20	17	10	8	5	7	5	7	10	8	14	131
облачных	10	7	12	17	19	22	21	22	18	15	17	14	194
пасмурн.	1	1	2	3	4	3	3	4	5	6	5	3	40

Расчеты по углу наклона солнца относительно горизонта и продолжительность инсоляции приняты по географическим характеристикам для г. Челябинск ( $55^{\circ}09'44''$  с.ш.  $61^{\circ}24'11''$  в.д.).

Таблица 3.2 - Продолжительность инсоляции для г. Челябинск

<b>Месяц</b>	<b>Восход</b>	<b>Полдень</b>	<b>Закат</b>	<b>Кол-во часов инсоляции (для юга)</b>	<b>Высота солнца над горизонтом</b>
Январь	9.03	13.06	17.10	8.07	13,70°
Февраль	8.03	13.09	18.15	10.12	22,84°
Март	6.52	13.02	19.11	12.00	34,15°
Апрель	5.35	12.53	20.12	10.30	45,89°
Май	4.35	12.52	21.09	9.45	53,97°
Июнь	4.15	12.57	21.40	9.30	56,60°
Июль	4.46	13.01	21.17	9.45	53,24°
Август	5.43	12.58	20.14	11.00	45,12°
Сентябрь	6.41	12.48	18.55	11.30	34,24°
Октябрь	7.39	12.39	17.40	10.01	23,22°
Ноябрь	8.42	12.41	16.41	7.59	14,18°
Декабрь	9.20	12.54	16.27	7.07	10,60°

Примем площадь системы равную  $1\text{м}^2$ , производительность системы 12 кВт (согласно средним паспортным данным на оборудование).

Данные сведем в таблицу

Таблица 3.3 - Количество тепла, вырабатываемого солнечными коллекторами

	Кол-во ясных дней	Кол-во часов	Суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность, кВт·ч/м <sup>2</sup>	Суммарная солнечная радиация на вертикальную поверхность, кВт·ч/м <sup>2</sup>	Количество тепла, кВт·ч
Январь	3	8.07	31	118	290,52
Февраль	5	10.12	61	147	607,2
Март	3	12.00	130	187	432
Апрель	3	10.30	181	177	370,8
Май	3	9.45	233	150	340,2
Июнь	1	9.30	243	130	-
Июль	2	9.45	243	139	-
Август	1	11.00	193	153	-
Сентябрь	3	11.30	135	169	-
Октябрь	2	10.01	74	166	240,24
Ноябрь	1	7.59	35	139	91,08
Декабрь	3	7.07	23	111	254,52
<b>Итого за отопительный период</b>					<b>2626,56</b>

Исходя из результатов, можно сделать вывод, что система отопления с помощью солнечных коллекторов приносит энергию 2626,56 кВт·ч/год. Наибольший приток тепла установки происходит при установке солнечных батарей в вертикальном положении с поворотом на южную сторону. Общий расход теплопотерь пассивного дома равен 8985,64 кВт·ч/год.

Таким образом, установка солнечных коллекторов на южную сторону здания сокращает расходы теплопотерь на 29%.

### 3.1.2 Целесообразность применения грунтовых теплообменников для системы отопления пассивного дома в условиях климата Челябинской области

Грунтовые теплообменники работают за счет разницы температур нижних слоев грунта и верхних. Температура верхних слоев грунта не стабильна, зависит от температуры окружающего воздуха.

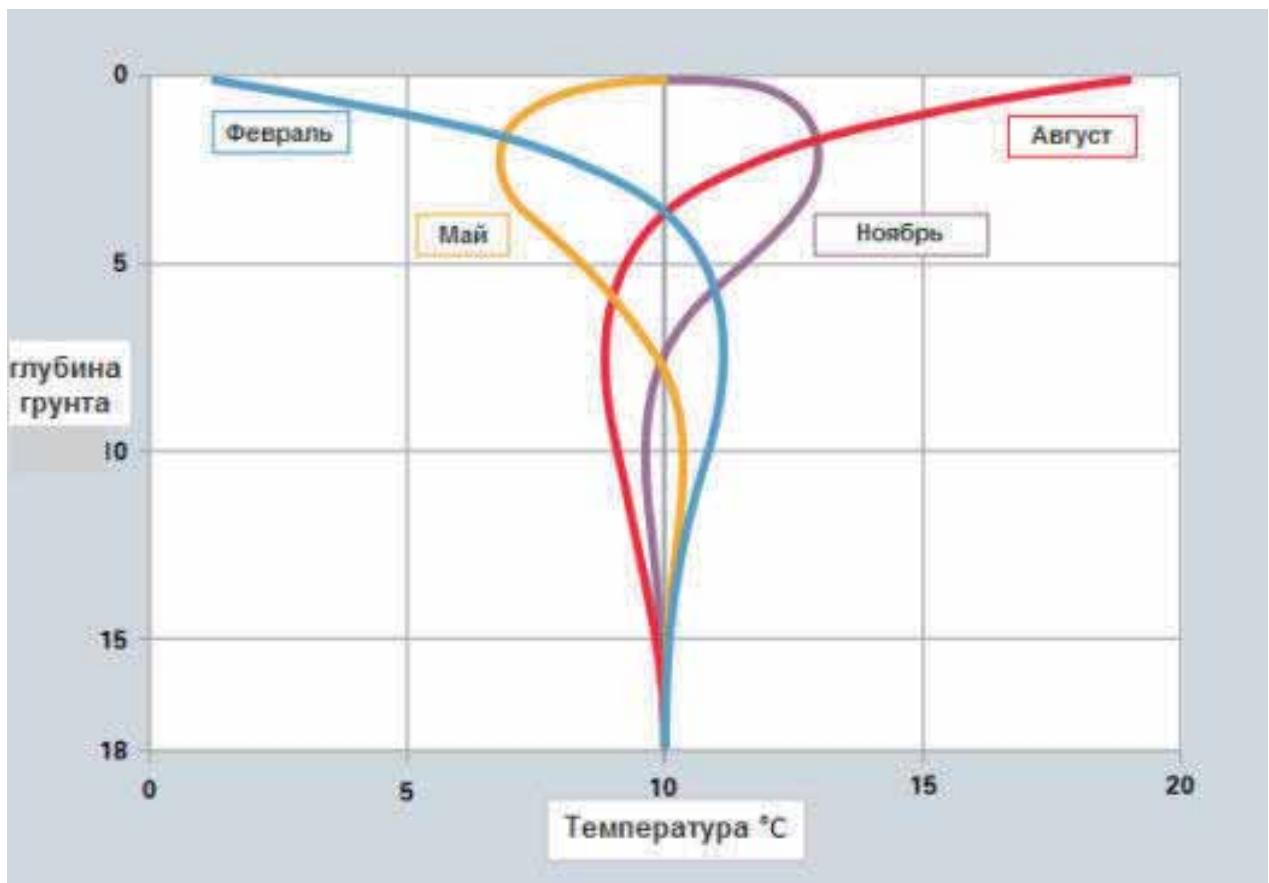


Рисунок 3.1 - Температура слоев грунта относительно глубины залегания

Монтаж теплообменника наиболее прост, но есть и минусы. Теплообменник занимает достаточно много места, на котором в последствии нельзя разместить строения и деревья. Теплообменник работает не достаточно эффективно, если температура наружного воздуха находится выше чем +5°C. Следовательно в межсезонье грунтовый теплообменник не используют.

Еще один из минусов эксплуатации грунтового теплообменника - это деградация почвы в месте установки теплообменника. Так как температура грунта

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

снижается вокруг скважины и не успевает прогреваться до следующего отопительного периода. Это приводит к ухудшению эффективности теплового насоса. Европейские исследователи рекомендуют включать тепловой насос на летний период времени в реверсивном режиме. Такой режим называется процессом термической стабилизации.

Проведем расчет грунтового теплообменника для условий Челябинской области и характеристик проектируемого пассивного дома.

Примем, что для отопления дома требуется тепловой насос мощностью 10кВт. Мощность контуров теплообменника рассчитывается с учетом характеристик теплообменника по формуле:

$$P_e = P_n * (1 - 1/COP), \text{ кВт, где:}$$

Где  $P_n$  – номинальная мощность теплового насоса,  $COP$  – коэффициент преобразования.

В качестве образца примем тепловой насос с мощностью – 9,65 кВт и  $COP$  — 4,03.

$$P_e = 9,65 * (1 - 1/4,03) = 7,25 \text{ кВт;}$$

Необходимая длина горизонтального теплообменника теплового насоса, равна отношению необходимой мощности к снимаемой мощности одного метра трубы:

$$L = P_e/q, \text{ м}$$

Где  $q$  — принимаем 20 Вт/м (среднее значение для горизонтальных коллекторов). Теплосъем зависит от вида породы грунта. Минимальный теплосбор равен 20 Вт/м в сухих осадочных породах, максимальный - равен 80-100 Вт/м в грунтовых водах. Примем для расчета минимальный теплосбор 20Вт/м.

$$L = 7,25/0,02 = 362,5 \text{ м}$$

Для проектируемого теплового насоса будет оптимально 4 грунтовых контура по 100 м каждый. Необходимая площадь для коллектора равна произведению этого числа и величины шага укладки труб (принимаем шаг равный 0,7 м)  $S = 400 * 0,7 = 280 \text{ м}^2$ .

Иzm.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

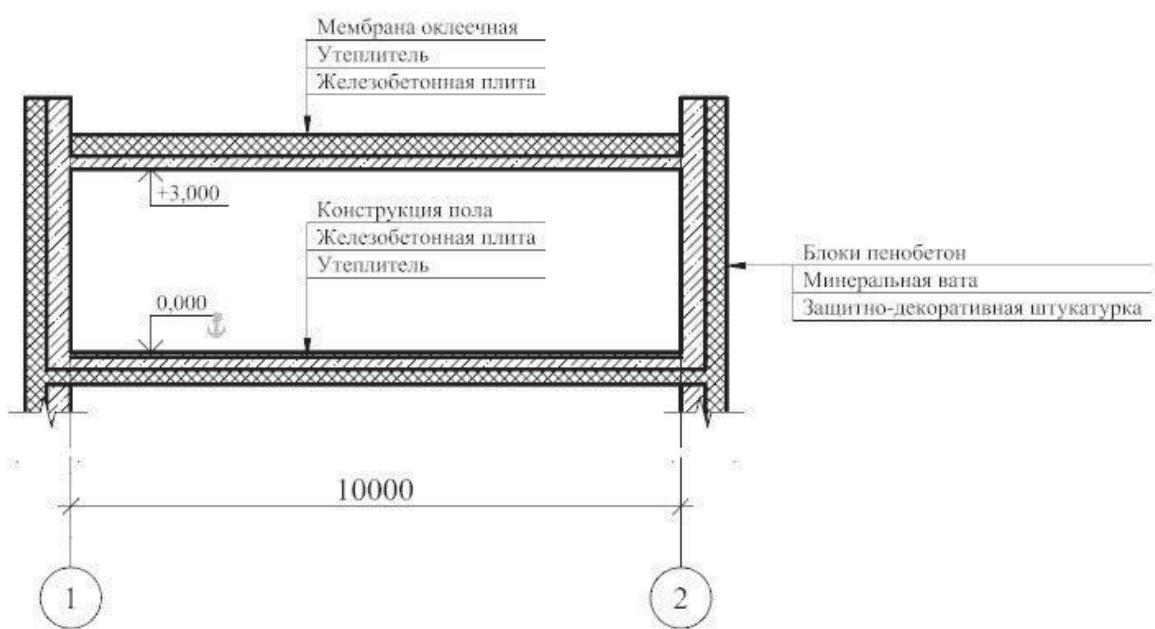
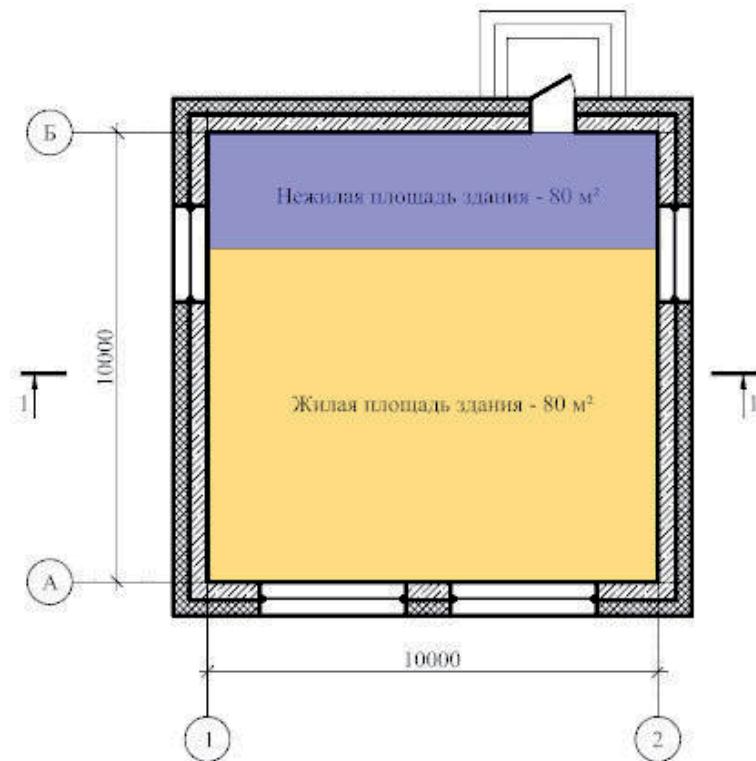
Таким образом, для размещения грунтового теплообменника требуется участок со свободной площадью около 300 м<sup>2</sup>, это участок габаритами 10x30м. С учетом действующих цен на квадратный метр земли, земельных работ и стоимости установки оборудования грунтового теплообменника, данная система становится очень дорогой и неудобной для условий Челябинской области.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

### 3.2 Математическая модель

#### 3.2.1 Теплотехнический расчет жилого дома пассивного типа Характеристики и требования к ограждающим конструкциям

Характеристики материалов приняты по приложению Т[16] и таблице 4[17]. Характеристики оконных блоков приняты по п. 4.7.1 [2]; характеристики дверных блоков приняты по п. 4.2.1[4]. Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций приняты по таблице 3[16]. Данные приняты в соответствии с рисунком 3.2



Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №

Таблица 3.4 Характеристики материалов и ограждающих конструкций

№ п/п	Материал/Конструктивное решение	Теплопроводность (A) $\lambda_e$ , Вт/(м·°C)	Коэф- фици- ент r
Проектируемая стена дома			
1	Ячеистый блок, D800 на цементном растворе	0,48	0,9
2	Плита из минеральной ваты	0,040	
3	Штукатурный слой	0,76	
Проектируемая кровля			
1	Плиты пустотные железобетонные	1,92	0,8
2	Утеплитель	0,032	
Проектируемый пол			
1	Конструкция пола	-	-
2	Плиты железобетонные монолитные	1,92	
3	Утеплитель	0,032	

Таблица 3.5 Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

Здания и помещения	Нормируемые значения сопротивления теплопередаче $R_{req}$ , $\text{м}^2 \times {}^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , ограждающих конструкций			
	Стен	Покрытий	Перекрытий чердачных	Окон и балконных дверей
a	0,00035	0,0005	0,00045	0,000075
b	1,4	2,2	1,9	0,15

Таблица 3.6 Принятые температуры в помещениях

## Поэлементное требование

Приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений (раздел 5 [16]):

$$R_0^{\text{пр}} > R_0^{\text{норм}} \quad (3.1)$$

где:

$R_0^{\text{пр}}$  - приведенное значение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \times {}^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;

$R_0^{\text{норм}}$  - нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \times {}^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Нормируемое значение сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций  $R_0^{\text{норм}}$  (формула 5.1 [16]) определяется из условия:

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{тр}} m_p \quad (3.2)$$

где:

$R_0^{\text{тр}}$  - базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \times {}^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;

$m_p$  - коэффициент учитывающий особенности региона строительства.

Базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче,  $R_0^{\text{тр}}$ , стен и покрытия определяется из условия (примечание 1 таблицы 3 [16]):

$$R_0^{\text{тр}} = a \cdot \text{ГСОП} + b \quad (3.3)$$

$a$  - коэффициент по таблице 2.3;

$b$  - коэффициент по таблице 2.3;

ГСОП - градусо-сутки отопительного периода,  ${}^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$ .

Градусо-сутки отопительного периода (формула 5.2 [16]) находится по формуле:

$$\text{ГСОП} = (t_b - t_{ot}) Z_{ot} \quad (3.4)$$

где:

$t_b$  21 - внутренняя температура помещений,  ${}^\circ\text{C}$ ;

$t_{ot} = -6,5$  - средняя температура воздуха в отопительный период,  ${}^\circ\text{C}$ ;

$Z_{ot} = 218$  - продолжительность отопительного периода, сут.

$t = -34$  - температура наиболее холодной пятидневки,  ${}^\circ\text{C}$ .

$v = 4,5$  - максимальная из средних скоростей по румбам за январь,  $\text{м}/\text{с}$ .

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.	Лист	№док	Подпись	Дата

Приведенное сопротивление теплопередачи ограждающей конструкции  $R_0^{np}$ , определяется исходя из формулы Е.4 [16] с учетом неоднородности ограждающих конструкций:

$$r = \frac{R_0^{np}}{R_0^{ysl}} \quad (3.5)$$

где:

$r$  - коэффициент теплотехнической однородности.

$R_0^{ysl}$  - условное сопротивление теплопередачи,  $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;

Из формулы (3.5), приведенное сопротивление теплопередачи  $R_0^{np}$ , будет равно:

$$R_0^{np} = R_0^{ysl} r \quad (3.6)$$

Условное сопротивление теплопередачи  $R_0^{ysl}$  (формула Е.6 [16]) находится по формуле:

$$R_0^{ysl} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_s R_s + \frac{1}{\alpha_H} \quad (3.7)$$

где:

$\alpha_B$  - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности (таблица 4[16]),  $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;

$\alpha_H$  - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности (таблица 4[16]),  $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;

$\sum_s R_s$  - суммарное термическое сопротивление всех слоев ограждающей конструкции,  $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

0

Термическое сопротивление одного слоя конструкции (формула Е.7 [16]):

$$R_s = \frac{\delta_s}{\lambda_s} \quad (3.8)$$

где:

$\delta_s$  - толщина слоя, м:

$\lambda_s$  - теплопроводность;  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;

Подставляя формулы (3.8) и (3.7) в формулу (3.6), приведенное сопротивление теплопередачи стены  $R_0^{np}$  будет равно:

$$R_0^{np} = \left( \frac{1}{\alpha_B} + \sum_s \frac{\delta_s}{\lambda_s} + \frac{1}{\alpha_H} \right) r \quad (3.9)$$

Таблица 3.7 Результаты расчета поэлементного требования

Инв. № подл.	Подпись и дата	Бзм. инв. №

Изм.	Кол.	Лист	№док	Подпись	Дата

№	Конструкция стены	$m_p$	r	Слои			$\alpha_h$	$\alpha_b$	ГСО П, °C· сут/го д	$R_0^{\text{пр}},$ $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/$ Вт	$R_0^{\text{норм}},$ $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/$ Вт
				$\delta_s, \text{м}$	$\lambda_s, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	$R_s, \text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$					
1	Стена жилого помещения:	0,63	0,9								
	- кладка блоков			0,4	0,48	0,83					
	- утеплитель			0,35	0,04	8,75	23,0	8,7	5 995,0	8,8	2,2
	- штукатурный слой			0,03	0,760	0,04					
2	Кровля основная:	0,8	0,8								
	Плита перекрытия			0,22	1,92	0,11					
	Утеплитель			0,35	0,032	10,94	23,0	8,7	5 995,0	8,97	4,16
3	Окна, балконные двери*	0,95	1	-	-	-	-	-	5 995,0	0,81	0,57
4	Двери**	1	1	-	-	-	-	-	5 995,0	5,5	5,28

\*по ГОСТ 30674-99 Блоки оконные из поливинилхлоридных профилей.

**Технические условия** (Принято окно из пятикамерного профиля с двухкамерными стеклопакетами с покрытием низкоэмиссионным покрытием и заполнением инертным газом)

\*\*по ГОСТ 30970-2014 Блоки дверные из поливинилхлоридных профилей (Двери входные с тамбуром, имеют пятикамерный оконный профиль, двухкамерный стеклопакет с заполнением инертным газом и низкоэмиссионным покрытием)

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №
--------------	----------------	--------------

Изм.	Кол.	Лист	№док	Подпись	Дата
------	------	------	------	---------	------

## Комплексное требование

Удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения (раздел 5 [16]):

$$k_{ob} \leq k_{ob}^{tp} \quad (3.10)$$

где:

$k_{ob}$  - удельная теплозащитная характеристика здания,  $m^2 \times {}^\circ C / Вт$ ;

$k_{ob}^{tp}$  - нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания,  $m^2 \times {}^\circ C / Вт$ .

Нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания  $k_{ob}^{mp}$  определяется в зависимости от отапливаемого объема здания.

Отапливаемый объем здания определяется как *объем*, ограниченный внутренними поверхностями наружных ограждений здания - стен, покрытий, перекрытий пола первого этажа:

$$\text{Общий объем } V_{ot} = 300 \quad m^3$$

$$\text{Площадь стен } S_{ct} = 96,3 \quad m^2$$

$$\text{Площадь окон и балконных дверей} = 21,60 \quad m^2$$

$$\text{Площадь входной двери} = 2,1 \quad m^2$$

$$\text{Площадь жилая} = 80,0 \quad m^2$$

$$\text{Высота этажа} = 3,0 \quad m$$

Нормируемые значения  $k_{ob}^{mp}$  определяются по таблице 7[16]. Согласно *примечания 1*, к указанной таблице, нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания  $k_{ob}^{tp}$ , при промежуточных ГСОП и отапливаемого объема  $V_{ot}$ , считаются по формулам (формулы (5.5) и (5.6) [16] соответственно):

$$k_{ob}^{tp} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{V_{ot}}}}{0,00013 \cdot \text{ГСОП} + 0,61} \quad (3.11)$$

$$k_{ob}^{tp} = \frac{8,5}{\sqrt{\text{ГСОП}}} \quad (3.12)$$

где:

ГСОП 5 995,0 - градусо-сутки отопительного периода,  ${}^\circ C \cdot \text{сут}/\text{год}$ ;

$V_{ot}$  300,0 - отапливаемый объем здания,  $m^3$ ;

Подставляя значения в формулы (3.10), (3.11) и (3.12):

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.	Лист	№док	Подпись	Дата

$$k_{ob}^{tp} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{140987,6}}}{0,00013 \times 5943,6 + 0,61} = 0,5307 \text{ Bt}/(\text{m}^2 \times {}^\circ\text{C}) \text{ (формула 5.5[16])}$$

$$k_{ob}^{tp} = \frac{8,5}{\sqrt{5943,6}} = 0,1098 \text{ Bt}/(\text{m}^2 \times {}^\circ\text{C}) \text{ (формула 5.6[16])}$$

Согласно примечания 2 (таблица 7[16]): «*при достижении величиной  $k_{ob}^{mp}$ , вычисленной по (5.5), значений меньших, чем определенных по формуле (5.6), следует принимать значения  $k_{ob}^{mp}$ , определенные по формуле (5.6)*»:

Принимаем значение  $k_{ob}^{tp} = 0,531 \text{ Bt}/(\text{m}^2 \times {}^\circ\text{C})$

Удельная теплозащитная характеристика здания,  $k_{ob}$ ,  $\text{Bt}/(\text{m}^2 \times {}^\circ\text{C})$ , рассчитывается по формуле (приложение Ж [16]):

$$k_{ob} = \frac{1}{V_{ot}} \sum_i \left( n_{t,i} \frac{A_{\phi,i}}{R_{0,i}^{tp}} \right) \quad (3.13)$$

где:

- $V_{ot} = 300,0$  - отапливаемый объем здания,  $\text{m}^3$ ;
- $n_{t,i} = 1,0$  - коэффициент, учитывающий отличие внутренней или наружной температуры у конструкции от принятых в расчете ГСОП;
- $R_{0,i}^{tp}$  - приведенное сопротивление теплопередаче  $i$ -го фрагмента теплозащитной оболочки здания,  $(\text{m}^2 \cdot {}^\circ\text{C})/\text{Bt}$ ;
- $A_{\phi,i}$  - площадь соответствующего фрагмента теплозащитной оболочки здания по внутреннему обмеру,  $\text{m}^2$ ;

Таблица 3.8 — Расчетная таблица

№ п/п	Наименование фрагмента	$n_{t,i}$	$A_{\phi,i},$ $\text{m}^2$	$R_{0,i}^{tp},$ $(\text{m}^2 \cdot {}^\circ\text{C})/\text{Bt}$	$n_{t,i} \frac{A_{\phi,i}}{R_{0,i}^{tp}}, \text{Bt}/{}^\circ\text{C}$	%
1	Основное покрытие кровли	1	100,0	8,97	11,2	19,0
2	Стена основная	1	96,3	8,8	10,9	18,6
3	Окна и балконные двери	1	21,6	0,81	26,7	45,5
4	Двери	1	2,1	5,5	0,4	0,7
5	Пол по грунту	1	100,0	10,49	9,5	16,2
	$\sum_i \left( n_{t,i} \frac{A_{\phi,i}}{R_{0,i}^{tp}} \right) =$				58,7	100

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждений по грунту,  $R_{pol}$ ,

$(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$ , определяется по формуле: (3.23)

$$R_{\text{пол}} = A_{\phi,i} / (A_{\phi,1}/(R_{\text{пол},1} + \delta_1/\lambda_1) + A_{\phi,2}/(R_{\text{пол},2} + \delta_1/\lambda_1) + A_{\phi,3}/(R_{\text{пол},3} + \delta_1/\lambda_1) + A_{\phi,4}/(R_{\text{пол},4} + \delta_1/\lambda_1)) \quad (3.14)$$

Подставляя данные в формулу (3.14), получим:

$$R_{\text{пол}} = 100 / (80/(2,1+0,3/0,032) + 32/(4,3+0,3/0,032) + 4/(8,6+0,3/0,032)) = 10,49 \ (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$$

Толщина утеплителя  $\delta_1$  принята 25 см, в соответствии с требованиями Европейских норм [20] («..толщина слоя утеплителя по всему периметру ограждающей оболочки должна быть не менее 0,25м»).

Базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче,  $R_0^{mp}$ , покрытия определяется из условия (примечание 1 таблицы 3 [16]):

$$R_0^{\text{tp}} = a \cdot \Gamma \text{СОП} + b \quad (3.15)$$

a 0,00045 - коэффициент по таблице 2.3;

b 1,9 - коэффициент по таблице 2.3;

$\Gamma \text{СОП}$  5995 - градусо-сутки отопительного периода,  $^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$

$$R_0^{\text{tp}} = 4,6 \ \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

$$R_{\text{пол}} \leq R_0^{mp}, \text{ требование выполняется}$$

Подставляя данные в формулу (3.13)

$$k_{\text{об}} = \frac{1}{300} \times 101,2 = 0,196 \ \text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}) \quad <k_{\text{об}}^{\text{tp}} = 0,531 \ \text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

Требование выполняется.

Нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию малоэтажных жилых одноквартирных зданий,  $q_{om}^{mp}$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ , рассчитывается по формуле (приложение Г [16]):

$$q_{\text{от}}^{\text{p}} = [k_{\text{об}} + k_{\text{вент}} - (k_{\text{быт}} + k_{\text{рад}}) \nu \zeta] (1 - \xi) \beta_h \quad (3.16)$$

где:

$k_{\text{об}} = 0,2$  - удельная теплозащитная характеристика здания,  $\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;

$k_{\text{вент}}$  - удельная вентиляционная характеристика здания,  $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$

$k_{\text{быт}} = 0,14$  - удельная характеристика бытовых тепловыделений здания,  $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$

$k_{\text{рад}}$  - удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации,  $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$\nu = 0,82$  - коэффициент снижения теплопоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций; рекомендуемые значения определяются по

формуле  $v = 0,7 + 0,000025(\text{ГСОП-1000})$ ;

$\zeta = 1$  - коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления;

$\xi = 0,1$  - коэффициент, учитывающий снижение теплопотребления жилых зданий при наличии поквартирного учета тепловой энергии на отопление, принимается до получения статистических данных фактического снижения  $\xi=0,1$

- коэффициент, учитывающий дополнительное теплопотребление системы отопления, связанное с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их

$\beta_h = 1$  дополнительными теплопотерями через зарадиаторные участки ограждений, повышенной температурой воздуха в угловых помещениях, теплопотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения

Удельная вентиляционная характеристика здания,  $k_{\text{вент}}$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot {}^\circ\text{C})$ , рассчитывается по формуле (приложение Г [16]):

$$k_{\text{вент}} = 0,28 c n_b \beta_v \rho_b^{\text{вент}} (1 - k_{\phi}) \quad (3.17)$$

где:

$c = 1,0$  - удельная теплоемкость воздуха,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C})$

$n_b = 0,35$  - средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период,  $\text{ч}^{-1}$

$\beta_v = 0,85$  - коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций

$\rho_b^{\text{вент}} = 1,32$  - средняя плотность приточного воздуха за отопительный период,  $\text{кг}/\text{м}^3$

$k_{\phi} = 0,85$  - коэффициент эффективности рекуператора

$k_{\phi}$  — принят в соответствии с рекомендациями [20], не менее 75%

Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период,  $n_b$ ,  $\text{ч}^{-1}$ , рассчитывается по формуле (приложение Г [16]):

Инв. № подл.	Подпись и дата

Изм.	Кол.	Лист	№док	Подпись	Дата

$$n_b = [(L_{вент} n_{вент}) / 168 + (G_{инф} n_{инф}) / (168 \rho_b^{вент})] / (\beta_v V_{от}) \quad (3.18)$$

где:

$L_{вент} = 90,0$  - количество приточного воздуха в здание при неорганизованном притоке либо нормируемое значение при механической вентиляции,  $\text{м}^3/\text{ч}$

$n_{вент} = 168$  - число часов работы механической вентиляции в течение недели  
 $168$  - число часов в неделе

$G_{инф} = 0$  - количество инфильтрующегося воздуха в здание через ограждающие конструкции,  $\text{кг}/\text{ч}$

$n_{инф} = 0$  - число часов учета инфильтрации в течение недели, ч

$\rho_b^{вент} = 1,32$  - средняя плотность приточного воздуха за отопительный период,  $\text{кг}/\text{м}^3$

$\beta_v = 0,85$  - коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций

$G_{инф}, n_{инф}$  приняты 0, т. к. возможность инфильтрации в пассивном доме исключена за счет герметичной наружной оболочки здания, не допускающей возникновение щелей.

Подставляя данные в формулу (3.18), получим:

$$n_b = [(90 \times 168) / 168 + 0 / (168 / 1,32)] / (0,85 \times 300) = 0,353 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

Подставляя данные в формулу (3.17), получим:

$$k_{вент} = 0,28 \times 1 \times 0,41 \times 0,85 \times 1,32 (1 - 0,85) = 0,013 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной энергии,  $k_{рад}$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$  рассчитывается по формуле (приложение Г [16]):

$$k_{рад} = \frac{11,6 Q_{рад}^{год}}{(V_{от} ГСОП)} \quad (3.19)$$

где:

$Q_{рад}^{год}$  - теплопоступления через окна и фонари от солнечной радиации в течение отопительного периода, МДж/год

Теплопоступления через окна от солнечной радиации в течение отопительного периода,  $Q_{рад}^{год}$ , МДж/год, рассчитываются по формуле (приложение Г [16]):

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.	Лист	№док	Подпись	Дата

$$Q_{\text{рад}}^{\text{год}} = \tau_{1\text{ок}} \tau_{2\text{ок}} (A_{\text{ок}1} I_1 + A_{\text{ок}2} I_2 + A_{\text{ок}3} I_3 + A_{\text{ок}4} I_4) \quad (3.20)$$

где:

$\tau_{1\text{ок}}$	0,57	- коэффициент относительного проникания солнечной радиации окон
$\tau_{2\text{ок}}$	0,65	- коэффициент, учитывающий затенение светового проема окон непрозрачными элементами заполнения
$A_{\text{ок}1}$	0,0	
$A_{\text{ок}2}$	13,0	- площадь светопроеемов фасадов здания, соответственно
$A_{\text{ок}3}$	4,3	ориентированных по четырем направлениям, м <sup>2</sup>
$A_{\text{ок}4}$	4,3	
$I_1$	748	
$I_2$	1650	- средняя за отопительный период величина солнечной радиации на
$I_3$	1086	вертикальные поверхности, МДж/(м <sup>2</sup> ·год)
$I_4$	1086	

$\tau_{1\text{ок}}, \tau_{2\text{ок}}$  — приняты в соответствии с ТСН 23-320-2000 Челябинской области «Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий»

Подставляя данные в формулу (3.20), получим:

$$Q_{\text{рад}}^{\text{год}} = 0,57 \times 0,65 \times (0 \times 748 + 13 \times 1650 + 4,3 \times 1086 + 4,3 \times 1086) = 11399,19 \text{ МДж/год}$$

Подставляя данные в формулу (3.19), получим:

$$k_{\text{рад}} = \frac{11,6 \times 11399,19}{(300 \times 5995)} = 0,07 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

Подставляя данные в формулу (3.16), получим:

$$q_{\text{от}}^p = [0,34 + 0,013 - (0,13 + 0,07) \times 0,82 \times 1] (1 - 0,1) 1 = 0,0306 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период,  $q$ , кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год), рассчитываются по формуле (приложение Г [16]):

$$q = 0,024 \text{ ГСОП } q_{\text{от}}^p h \quad (3.21)$$

Подставляя данные в формулу (3.21), получим:

$$q = 13,1875 \text{ кВт·ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$$

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный

Инв. № подл.	Подпись и дата	Бзлам. инв. №

Изм.	Кол.	Лист	№док	Подпись	Дата

период,

$Q_{om}^{zod}$ , кВт·ч/год, рассчитываются по формуле (приложение Г [16]):

$$Q_{ot}^{\text{год}} = 0,024 \text{ ГСОП} V_{ot} q_{ot}^p \quad (3.22)$$

Подставляя данные в формулу (3.22), получим:

$$Q_{om}^{zod} = 1\,318,75 \quad \text{кВт·ч/год}$$

Общие теплопотери здания за отопительный период,  $Q_{общ}^{zod}$ , кВт·ч/год, рассчитываются по формуле (приложение Г [16]):

$$Q_{общ}^{\text{год}} = 0,024 \text{ ГСОП} V_{ot} (k_{об} + k_{вент}) \quad (3.23)$$

Подставляя данные в формулу (3.23), получим:

$$Q_{общ}^{zod} = 8\,985,73 \quad \text{кВт·ч/год}$$

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.	Лист	№док	Подпись	Дата

## Распределение теплопотерь по элементам одноэтажного жилого дома

Трансмиссионные теплопотери (теплопотери за счет теплопередачи),  $Q_{\text{огр}}$ , Вт, рассчитываются по формуле:

$$Q_{\text{огр}} = KA(t_b - t_h)n(1 + \Sigma \beta) \quad (3.24)$$

где:

- $K$  - величина, обратная сопротивлению теплопередаче,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
- $n$  - коэффициент положения ограждения относительно наружного воздуха
- $\beta$  - коэффициент, учитывающий добавочные теплопотери
- $A$  - площадь фрагмента,  $\text{м}^2$

Таблица 3.9 — Теплопотери здания через ограждающие конструкции

Наименование фрагмента	$R_0^{\text{пр}}$ , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	$K$ , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	$A$ , $\text{м}^2$	$t_b$ , $^\circ\text{C}$	$t_h$ , $^\circ\text{C}$	$n$	Ориентация по сторонам света	$\beta$	$Q_{\text{огр}}$ , Вт
Стены	8,8	0,11	96,3	21	-34	1	C	0,1	752
							Ю	0	
							В	0,1	
							З	0,05	
Кровля	8,97	0,11	100	21	-34	0,6	-	0	368
Пол по грунту	10,49	0,1	100	21	-34	0,9	-	0,05	496
Окна, балконные двери	0,81	1,23	21,6	21	-34	1	C	0,1	1 833
							Ю	0	
							В	0,1	
							З	0,05	
Двери	5,5	0,18	2,1	21	-34	1	-	0,81	38

Расход теплоты на нагревание вентиляционного воздуха,  $Q_{\text{вент}}$ , Вт, рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{вент}} = 0,28 L c \rho A (t_b - t_{\text{пек}}) \quad (3.25)$$

где:

- количество приточного воздуха в здание при неорганизованном

$L_{вент} = 90,0$  притоке либо нормируемое значение при механической вентиляции,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$c = 1,006$  - теплоемкость воздуха,  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{°C})$ ;

$\rho = 1,2$  - плотность воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$t_{рек}$  - температура воздуха после рекуператора,  $^{\circ}\text{C}$

Температура воздуха после рекуператора,  $t_{рек}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ , рассчитывается по формуле:

$$t_{рек} = (t_b - t_h) 0,85 + t_h \quad (3.26)$$

где:

0,85 - коэффициент эффективности рекуператора.

Подставляя данные в формулу (3.26), получим:

$$t_{рек} = 12,75 \quad ^{\circ}\text{C}$$

Подставляя данные в формулу (3.25), получим:

$$Q_{вент} = 20\ 078 \quad \text{Вт}$$

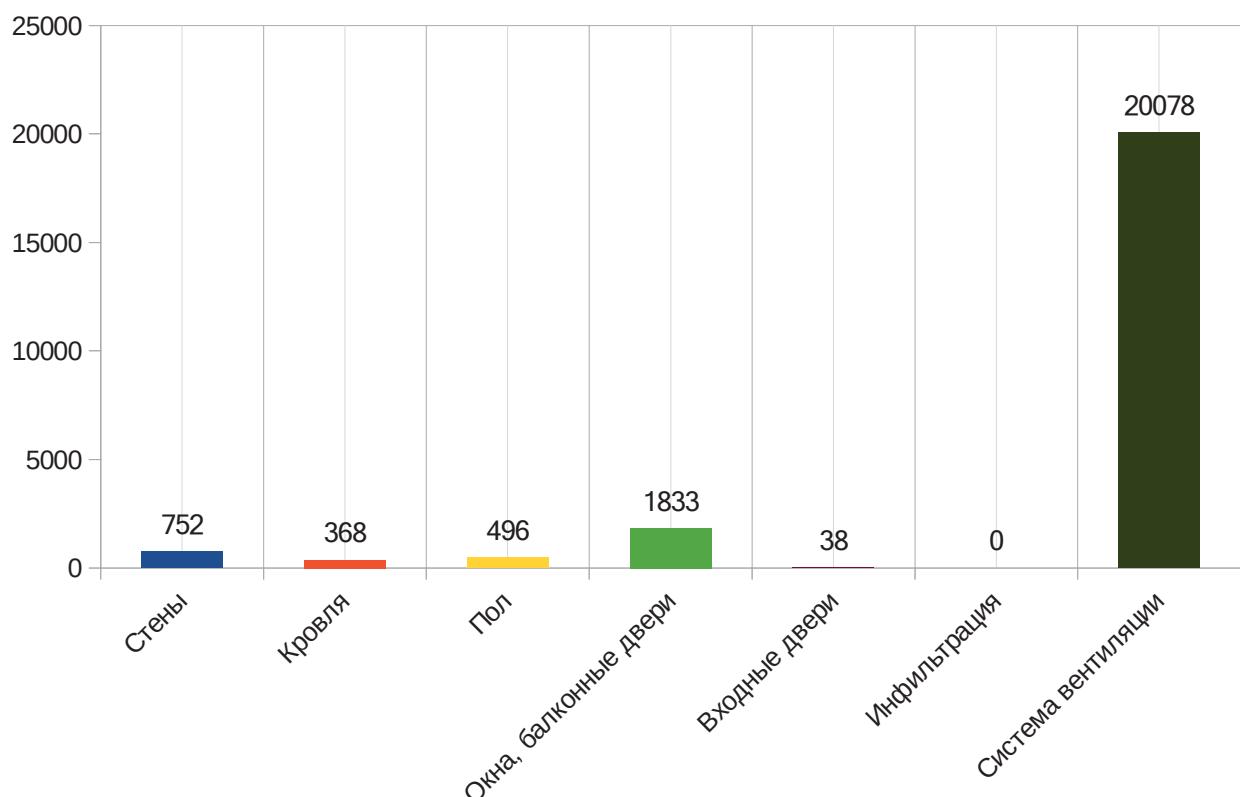


Рисунок 3.3 — Теплопотери здания пассивного типа

## Выводы по теплотехническому расчету

По результатам расчетов приняты следующие характеристики утепления фрагментов здания:

Таблица 3.10 — Характеристики утепления фрагментов здания

Элемент ограждающей конструкции	Толщина утеплителя, мм	Теплопроводность утеплителя $\lambda_A$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	Расчетное сопротивление теплопередачи, $R_0^{np}$ м <sup>2</sup> ·°C/Вт.
Стены	350	0,040	8,80
Кровля	350	0,032	8,97
Пол по грунту	300	0,032	10,49
Окна и балконные двери	-	-	0,81
Двери	-	-	5,50

Согласно зарубежным рекомендациям по проектированию пассивных домов «Пакет проектирования пассивного дома» (PHPP), удельный расход тепловой энергии не должен превышать 15 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год). В данном расчете удельный расход тепловой энергии равен 13,2 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год). Рассматриваемое здание соответствует зарубежным нормам пассивного дома.

Применяя к расчету современные нормы РФ, нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию малоэтажных жилых одноквартирных зданий не должна превышать 0,517 Вт/(м<sup>3</sup>·°C). В данном случае расчетное значение — 0,03 Вт/(м<sup>3</sup>·°C). Отклонение расчетного значения удельной характеристики тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого составит 94%, что соответствует классу энергосбережения А++ (очень высокий), в соответствии с СП 50.13330.2012 таблица 15.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что зарубежные требования к энергоэффективным домам значительно выше, чем современные требования Российской Федерации.

### 3.2.2 Теплотехнический расчет обычного жилого дома

#### Характеристики и требования к ограждающим конструкциям

Характеристики материалов приняты по *приложению Т[16]* и *таблице 4[17]*.

Характеристики оконных блоков приняты по п. 4.7.1 [3]; характеристики дверных блоков приняты по п. 4.2.1[4].

Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций приняты по таблице 3[16].

Таблица 3.11 Характеристики материалов и ограждающих конструкций

№ п/п	Материал/Конструктивное решение	Теплопроводность (A) $\lambda_e$ , Вт/(м·°C)	Коэф- фици- ент r
Проектируемая стена дома			
1	Ячеистый блок, D800 на цементном растворе	0,48	0,9
2	Плита из минеральной ваты	0,040	
3	Штукатурный слой	0,76	
Проектируемая кровля			
1	Плиты пустотные железобетонные	1,92	0,8
2	Утеплитель	0,032	

Таблица 3.12 Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

Здания и помещения	Нормируемые значения сопротивления теплопередаче $R_{req}$ , м <sup>2</sup> ×°C/Вт, ограждающих конструкций			
	Стен	Покрытий	Перекрытий чердачных	Окон и балконных дверей
a	0,00035	0,0005	0,00045	0,000075
b	1,4	2,2	1,9	0,15

Таблица 3.13 Принятые температуры в помещениях

№п/п	Помещение	Внутренняя температура воздуха, °C		Нормативный документ
		Диапазон	Принятая	
1	Жилые комнаты	20-22	21	ГОСТ 30494-2011

## Поэлементное требование

Приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений (раздел 5 [16]):

$$R_0^{\text{пр}} > R_0^{\text{норм}} \quad (3.1)$$

где:

$R_0^{\text{пр}}$  - приведенное значение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \times {}^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;

$R_0^{\text{норм}}$  - нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \times {}^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Нормируемое значение сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций  $R_0^{\text{норм}}$  (формула 5.1 [16]) определяется из условия:

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{тр}} m_p \quad (3.2)$$

где:

$R_0^{\text{тр}}$  - базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \times {}^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;

$m_p$  - коэффициент учитывающий особенности региона строительства.

Базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче,  $R_0^{\text{тр}}$ , стен и покрытия определяется из условия (примечание 1 таблицы 3 [16]):

$$R_0^{\text{тр}} = a \cdot \text{ГСОП} + b \quad (3.3)$$

a - коэффициент по таблице 2.3;

b - коэффициент по таблице 2.3;

ГСОП - градусо-сутки отопительного периода,  ${}^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$ .

Градусо-сутки отопительного периода (формула 5.2 [16]) находится по формуле:

$$\text{ГСОП} = (t_b - t_{ot}) Z_{ot} \quad (3.4)$$

где:

$t_b = 21$  - внутренняя температура помещений,  ${}^\circ\text{C}$ ;

$t_{ot} = -6,5$  - средняя температура воздуха в отопительный период,  ${}^\circ\text{C}$ ;

$Z_{ot} = 218$  - продолжительность отопительного периода, сут;

$t = -34$  - температура наиболее холодной пятидневки,  ${}^\circ\text{C}$ .

$v = 4,5$  - максимальная из средних скоростей по румбам за январь, м/с.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.	Лист	№док	Подпись	Дата

Приведенное сопротивление теплопередачи ограждающей конструкции  $R_0^{np}$ , определяется исходя из формулы Е.4 [16] с учетом неоднородности ограждающих конструкций:

$$r = \frac{R_0^{np}}{R_0^{yc}} \quad (3.5)$$

где:

$r$  - коэффициент теплотехнической однородности.

$R_0^{yc}$  - условное сопротивление теплопередачи,  $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;

Из формулы (3.5), приведенное сопротивление теплопередачи  $R_0^{np}$ , будет равно:

$$R_0^{np} = R_0^{yc} r \quad (3.6)$$

Условное сопротивление теплопередачи  $R_0^{yc}$  (формула Е.6 [16]) находится по формуле:

$$R_0^{yc} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_s R_s + \frac{1}{\alpha_H} \quad (3.7)$$

где:

$\alpha_B$  - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности (таблица 4[16]),  $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;

$\alpha_H$  - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности (таблица 4[16]),  $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;

$\sum_s R_s$  - суммарное термическое сопротивление всех слоев ограждающей конструкции,  $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Термическое сопротивление одного слоя конструкции (формула Е.7 [16]):

$$R_s = \frac{\delta_s}{\lambda_s} \quad (3.8)$$

где:

$\delta_s$  - толщина слоя, м:

$\lambda_s$  - теплопроводность;  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;

Подставляя формулы (3.8) и (3.7) в формулу (3.6), приведенное сопротивление теплопередачи стены  $R_0^{np}$  будет равно:

$$R_0^{np} = \left( \frac{1}{\alpha_B} + \sum_s \frac{\delta_s}{\lambda_s} + \frac{1}{\alpha_H} \right) r \quad (3.9)$$

Инв. № подл.	Подпись и дата

Изм.	Кол.	Лист	№док	Подпись	Дата

Таблица 3.14 Результаты расчета поэлементного требования

№	Конструкция стены	$m_p$	r	Слои			$\alpha_h$	$\alpha_b$	ГСО П, °C· сут/го	$R_0^{пр}$ , М <sup>2</sup> ·°C/ Вт	$R_0^{норм}$ , М <sup>2</sup> ·°C/ Вт
				$\delta_s$ , м	$\lambda_s$ , Вт/ (М <sup>2</sup> ·° С)	$R_s$ , м <sup>2</sup> ·°C/B т					
1	Стена жилого помещения:	0,63	0,9								
	- кладка блоков			0,4	0,48	0,83					
	- утеплитель			0,1	0,04	2,50	23,0	8,7	5 995,0	3,18	2,2
	- штукатурный слой			0,03	0,760	0,04					
2	Кровля основная:	0,8	0,8								
	Плита перекрытия			0,22	1,92	0,11					
	Утеплитель			0,2	0,032	6,25	23,0	8,7	5 995,0	5,22	4,16
3	Окна, балконные двери*	0,95	1	-	-	-	-	-	5 995,0	0,59	0,57
4	Двери**	1	1	-	-	-	-	-	5 995,0	2	1,91

\*по ГОСТ 30674-99 Блоки оконные из поливинилхлоридных профилей.

#### Технические условия

\*\*по ГОСТ 30970-2014 Блоки дверные из поливинилхлоридных профилей

Инв. № подл.	Подпись и дата	Бзл. инв. №

Изм.	Кол.	Лист	№док	Подпись	Дата

## Комплексное требование

Удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения (раздел 5 [16]):

$$k_{ob} \leq k_{ob}^{tp} \quad (3.10)$$

где:

$k_{ob}$  - удельная теплозащитная характеристика здания,  $m^2 \times {}^\circ C / Вт$ ;

$k_{ob}^{tp}$  - нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания,  $m^2 \times {}^\circ C / Вт$ .

Нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания  $k_{ob}^{mp}$  определяется в зависимости от отапливаемого объема здания.

Отапливаемый объем здания определяется как *объем*, ограниченный внутренними поверхностями наружных ограждений здания - стен, покрытий, перекрытий пола первого этажа:

Общий объем  $V_{ot} = 300 \text{ м}^3$

Площадь стен  $S_{ct} = 96,3 \text{ м}^2$

Площадь окон и балконных дверей =  $21,60 \text{ м}^2$

Площадь входной двери =  $2,1 \text{ м}^2$

Площадь жилая =  $80,0 \text{ м}^2$

Высота этажа =  $3,0 \text{ м}$

Нормируемые значения  $k_{ob}^{mp}$  определяются по таблице 7[16]. Согласно *примечания 1*, к указанной таблице, нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания  $k_{ob}^{tp}$ , при промежуточных ГСОП и отапливаемого объема  $V_{ot}$ , считаются по формулам (формулы (5.5) и (5.6) [16] соответственно):

$$k_{ob}^{tp} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{V_{ot}}}}{0,00013 \cdot ГСОП + 0,61} \quad (3.11)$$

$$k_{ob}^{tp} = \frac{8,5}{\sqrt{ГСОП}} \quad (3.12)$$

где:

Инв. № подл.	Подпись и дата

Изм.	Кол.	Лист	№док	Подпись	Дата

ГСОП 5 995,0 - градусо-сутки отопительного периода,  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}/\text{год}$ ;

$V_{\text{от}} 300,0$  - отапливаемый объем здания,  $\text{м}^3$ ;

Подставляя значения в формулы (3.10), (3.11) и (3.12):

$$k_{\text{oob}}^{\text{tp}} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{140987,6}}}{0,00013 \times 5943,6 + 0,61} = \frac{0,530}{7} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times ^{\circ}\text{C}) \text{ (формула 5.5[16])}$$

$$k_{\text{oob}}^{\text{tp}} = \frac{8,5}{\sqrt{5943,6}} = \frac{0,109}{8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times ^{\circ}\text{C}) \text{ (формула 5.6[16])}$$

Согласно примечания 2 (таблица 7[16]): «при достижении величиной  $k_{\text{oob}}^{\text{mp}}$ , вычисленной по (5.5), значений меньших, чем определенных по формуле (5.6), следует принимать значения  $k_{\text{oob}}^{\text{mp}}$ , определенные по формуле (5.6)»:

Принимаем значение  $k_{\text{oob}}^{\text{tp}} = 0,531 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times ^{\circ}\text{C})$

Удельная теплозащитная характеристика здания,  $k_{\text{oob}}$ ,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$ , рассчитывается по формуле (приложение Ж [1]):

$$k_{\text{oob}} = \frac{1}{V_{\text{от}}} \sum_i \left( n_{t,i} \frac{A_{\phi,i}}{R_{0,i}^{\text{пп}}} \right) \quad (3.13)$$

где:

$V_{\text{от}} = 300,0$  - отапливаемый объем здания,  $\text{м}^3$ ;

$n_{t,i} = 1,0$  - коэффициент, учитывающий отличие внутренней или наружной температуры у конструкции от принятых в расчете ГСОП;

$R_{0,i}^{\text{пп}}$  - приведенное сопротивление теплопередаче  $i$ -го фрагмента теплозащитной оболочки здания,  $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$ ;

$A_{\phi,i}$  - площадь соответствующего фрагмента теплозащитной оболочки здания по внутреннему обмеру,  $\text{м}^2$ ;

Таблица 3.15 — Расчетная таблица

№ п/п	Наименование фрагмента	$n_{t,i}$	$A_{\phi,i},$ $\text{м}^2$	$R_{0,i}^{\text{пп}},$ $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$	$n_{t,i} \frac{A_{\phi,i}}{R_{0,i}^{\text{пп}}}, \text{Вт}/^{\circ}\text{C}$	%
Инв. № подп. Подпись и дата	Основное покрытие кровли	1	100,0	5,22	19,2	17,9
	Стена основная	1	96,3	3,18	30,3	28,3
	Окна и балконные двери	1	21,6	0,59	36,6	34,1
	Двери	1	2,1	2	1,1	1,0
	Пол по грунту	1	100,0	4,98	20,1	18,7
Изм.	Кол.	Лист	№док	Подпись	Дата	Лист 90
ЮУрГУ 08.04.01 2017 328 ПЗ ВКР						

	$\sum_i \left( n_{t,i} \frac{A_{\phi,i}}{R_{0,i}^{np}} \right) =$					107,2	100
--	---	--	--	--	--	-------	-----

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждений по грунту,  $R_{pol}$ , ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт, определяется по формуле:

$$R_{pol} = A_{\phi,i} / (A_{\phi,1}/(R_{pol,1} + \delta_1/\lambda_1) + A_{\phi,2}/(R_{pol,2} + \delta_1/\lambda_1) + A_{\phi,3}/(R_{pol,3} + \delta_1/\lambda_1) + A_{\phi,4}/(R_{pol,4} + \delta_1/\lambda_1)) \quad (3.14)$$

Подставляя данные в формулу (3.14), получим:

$$R_{pol} = 100 / (80/(2,1+0,1/0,032) + 32/(4,3+0,1/0,032) + 4/(8,6+0/0,032)) = 4,98 \frac{(m^2 \cdot ^\circ C)}{Bt}$$

Базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче,  $R_0^{mp}$ , перекрытий определяется из условия (примечание 1 таблицы 3 [16]):

$$R_0^{tp} = a \cdot \Gamma \text{СОП} + b \quad (3.15)$$

a 0,00045 - коэффициент по таблице 2.3;

b 1,9 - коэффициент по таблице 2.3;

ГСОП 5995 - градусо-сутки отопительного периода,  
 $^\circ C \cdot \text{сут}/\text{год}$

$$R_0^{tp} = 4,6 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Bt}$$

$R_{pol} \leq R_0^{mp}$ , требование выполняется

Подставляя данные в формулу (3.13)

$$k_{ob} = \frac{1}{300} \times 97,3 = 0,357 \frac{Bt}{(m^3 \cdot C^\circ)} \quad <k_{ob}^{tp} = 0,531 \frac{Bt}{(m^3 \cdot C^\circ)}$$

Требование выполняется.

Нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию малоэтажных жилых одноквартирных зданий,  $q_{om}^{mp}$ , Вт/( $m^3 \cdot ^\circ C$ ), рассчитывается по формуле (приложение Г [16]):

$$q_{ot}^p = [k_{ob} + k_{vent} - (k_{byt} + k_{rad}) \nu \zeta] (1 - \xi) \beta_h \quad (3.16)$$

где:

$k_{ob} = 0,36$  - удельная теплозащитная характеристика здания,  $m^2 \times ^\circ C/Bt$ ;

$k_{vent}$  - удельная вентиляционная характеристика здания,  $Bt/(m^3 \cdot ^\circ C)$

$k_{byt} = 0,14$  - удельная характеристика бытовых тепловыделений здания,  $Bt/(m^3 \cdot ^\circ C)$

Инв. № подл.	Подпись и дата	Бзм. инв. №

- $k_{\text{рад}}$  - удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;
- $v = 0,82$  ограждающих конструкций; рекомендуемые значения определяются по формуле  $v = 0,7 + 0,000025(\text{ГСОП-1000})$ ;
- $\zeta = 1$  - коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления;
- $\xi = 0,1$  зданий при наличии поквартирного учета тепловой энергии на отопление
- $\beta_h = 1$  дополнительными теплопотерями через зарадиаторные участки ограждений, повышенной температурой воздуха в угловых помещениях, теплопотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения

Удельная вентиляционная характеристика здания,  $k_{\text{вент}}$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , рассчитывается по формуле (приложение Г [16]):

$$k_{\text{вент}} = 0,28 c n_b \beta_v \rho_b^{\text{вент}} (1 - k_{\phi}) \quad (3.17)$$

где:

- $c = 1,0$  - удельная теплоемкость воздуха,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$
- $n_b = 0,01$  - средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период,  $\text{ч}^{-1}$
- $\beta_v = 0,85$  - коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций
- $\rho_b^{\text{вент}} = 1,32$  - средняя плотность приточного воздуха за отопительный период,  $\text{кг}/\text{м}^3$
- $k_{\phi} = 0$  - коэффициент эффективности рекуператора

Инв. № подл.	Подпись и дата	Бзм. инв. №

Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период,  $n_e$ , ч<sup>-1</sup>, рассчитывается по формуле (приложение Г [16]):

$$n_e = [(L_{вент} n_{вент})/168 + (G_{инф} n_{инф})/(168 \rho_b^{вент})]/(\beta_v V_{от}) \quad (3.18)$$

где:

- количество приточного воздуха в здание при неорганизованном

$L_{вент} = 90,0$  притоке либо нормируемое значение при механической вентиляции, м<sup>3</sup>/ч

$n_{вент} = 0$  - число часов работы механической вентиляции в течение недели

168 - число часов в неделе

$G_{инф} = 2,46$  - количество инфильтрующегося воздуха в здание через ограждающие конструкции, кг/ч

$n_{инф} = 168$  - число часов учета инфильтрации в течение недели, ч

$\rho_b^{вент} = 1,32$  - средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, кг/м<sup>3</sup>

$\beta_v = 0,85$  - коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций

Количество инфильтрующегося воздуха в здание через ограждающие конструкции,  $G_{инф}$ , кг/ч, рассчитывается по формуле (приложение Г [16]):

$$G_{инф} = (A_{ок}/R_{и, ок}^{тр})(\Delta p_{ок}/10)^{2/3} + (A_{дв}/R_{и, дв}^{тр})(\Delta p_{дв}/10)^{1/2} \quad (3.19)$$

где:

$A_{ок} = 21,6$  - суммарная площадь окон и балконных дверей, м<sup>2</sup>

$A_{дв} = 2,1$  - суммарная площадь входных наружных дверей, м<sup>2</sup>

$R_{и, ок}^{тр} = 15$  - требуемое сопротивление воздухопроницанию окон и балконных дверей, (м<sup>2</sup>·ч)/кг

$R_{и, дв}^{тр} = 3$  - требуемое сопротивление воздухопроницанию входных наружных дверей, (м<sup>2</sup>·ч)/кг

$\Delta p_{ок} = 11,84$  - расчетная разность давлений наружного и внутреннего воздуха, Па

$\Delta p_{дв} = 14,77$  - расчетная разность давлений наружного и внутреннего воздуха, Па

Расчетная разность давлений наружного и внутреннего воздуха для окон и балконных дверей,  $\Delta p$ , Па, рассчитывается по формуле (7.2 [16]):

Инв. № подл.	Подпись и дата

Изм.	Кол.	Лист	№док	Подпись	Дата

$$\Delta p_{ок} = 0,28 H (\gamma_h - \gamma_b) + 0,03 \gamma_h v^2 \quad (3.20)$$

где:

H	4,0	- высота здания (от уровня пола первого этажа до верха вытяжной шахты), м
$\gamma_h$	14,5	- удельный вес наружного воздуха, Н/м <sup>3</sup>
$\gamma_b$	11,8	- удельный вес внутреннего воздуха, Н/м <sup>3</sup>
v	4,5	- максимальная из средних скоростей по румбам за январь, м/с.

Подставляя данные в формулу (3.20), получим:

$$\Delta p_{ок} = 0,28 \times 4 (14,5 - 11,8) + 0,03 \times 14,5 \times 4,5^2 = 11,84 \text{ Bt/(m}^3 \cdot ^\circ\text{C)}$$

Расчетная разность давлений наружного и внутреннего воздуха для наружных дверей,  $\Delta p$ , Па, рассчитывается по формуле (7.2 [16]):

$$\Delta p_{дв} = 0,55 H (\gamma_h - \gamma_b) + 0,03 \gamma_h v^2 \quad (3.21)$$

Подставляя данные в формулу (3.21), получим:

$$\Delta p_{дв} = 0,55 \times 4 (14,5 - 11,8) + 0,03 \times 14,5 \times 4,5^2 = 14,77 \text{ Bt/(m}^3 \cdot ^\circ\text{C)}$$

Подставляя данные в формулу (3.19), получим:

$$G_{инф} = (21,6/15)(11,84/10)^{(2/3)} + (2,1/3)(14,77/10)^{(1/2)} = 2,46 \text{ кг/ч}$$

Подставляя данные в формулу (3.18), получим:

$$n_b = [(90 \times 0)/168 + (2,46 \times 168)/(168 \times 1,32)] / (0,85 \times 300) = 0,007 \text{ Bt/(m}^3 \cdot ^\circ\text{C)}$$

Подставляя данные в формулу (3.17), получим:

$$k_{вент} = 0,28 \times 1 \times 0,007 \times 0,85 \times 1,32 (1 - 0) = 0,002 \text{ Bt/(m}^3 \cdot ^\circ\text{C)}$$

Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной энергии,  $k_{рад}$ , Вт/(м<sup>3</sup>·°C) рассчитывается по формуле (приложение Г [16]):

$$k_{рад} = \frac{11,6 Q_{рад}^{год}}{(V_{от} ГСОП)} \quad (3.22)$$

где:

$Q_{рад}^{год}$

- теплопоступления через окна и фонари от солнечной радиации в течение отопительного периода, МДж/год

Теплопоступления через окна от солнечной радиации в течение отопительного периода,  $Q_{рад}^{год}$ , МДж/год, рассчитываются по формуле (приложение Г [16]):

$$Q_{\text{рад}}^{\text{год}} = \tau_{1\text{ок}} \tau_{2\text{ок}} (A_{\text{ок}1} I_1 + A_{\text{ок}2} I_2 + A_{\text{ок}3} I_3 + A_{\text{ок}4} I_4) \quad (3.23)$$

где:

$\tau_{1\text{ок}}$	0,57	- коэффициент относительного проникания солнечной радиации окон
$\tau_{2\text{ок}}$	0,65	- коэффициент, учитывающий затенение светового проема окон непрозрачными элементами заполнения
$A_{\text{ок}1}$	0,0	
$A_{\text{ок}2}$	13,0	- площадь светопроеемов фасадов здания, соответственно
$A_{\text{ок}3}$	4,3	ориентированных по четырем направлениям, м <sup>2</sup>
$A_{\text{ок}4}$	4,3	
$I_1$	748	
$I_2$	1650	- средняя за отопительный период величина солнечной радиации на
$I_3$	1086	вертикальные поверхности, МДж/(м <sup>2</sup> ·год)
$I_4$	1086	

$\tau_{1\text{ок}}, \tau_{2\text{ок}}$  — приняты в соответствии с ТСН 23-320-2000 Челябинской области «Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий»

Подставляя данные в формулу (3.23), получим:

$$Q_{\text{рад}}^{\text{год}} = 0,57 \times 0,65 \times (0 \times 748 + 13 \times 1650 + 4,3 \times 1086 + 4,3 \times 1086) = 11399,19 \text{ МДж/год}$$

Подставляя данные в формулу (3.22), получим:

$$k_{\text{рад}} = \frac{11,6 \times 11399,19}{(300 \times 5995)} = 0,07 \text{ Вт/(м}^3 \cdot {^\circ}\text{C)}$$

Подставляя данные в формулу (3.16), получим:

$$q_{\text{от}}^{\text{p}} = [0,357 + 0,002 - (0,14 + 0,07) \times 0,82 \times 1] (1 - 0,1) 1 = 0,1664 \text{ Вт/(м}^3 \cdot {^\circ}\text{C)}$$

Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период,  $q$ , кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год), рассчитываются по формуле (прил. Г [16]):

$$q = 0,024 \text{ ГСОП } q_{\text{от}}^{\text{p}} h \quad (3.24)$$

Подставляя данные в формулу (3.24), получим:

$$q = 71,8177 \text{ кВт·ч/(м}^2 \cdot \text{год})$$

Инв. № подл.	Подпись и дата	Бзм. инв. №

Изм.	Кол.	Лист	№док	Подпись	Дата

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период,

$Q_{om}^{год}$ , кВт·ч/год, рассчитываются по формуле (приложение Г [16]):

$$Q_{от}^{год} = 0,024 \text{ГСОП } V_{от} q_{от}^p \quad (3.25)$$

Подставляя данные в формулу (3.25), получим:

$$Q_{om}^{год} = 7\ 181,77 \quad \text{кВт·ч/год}$$

Общие теплопотери здания за отопительный период,  $Q_{общ}^{год}$ , кВт·ч/год, рассчитываются по формуле (приложение Г [1]):

$$Q_{общ}^{год} = 0,024 \text{ГСОП } V_{от} (k_{об} + k_{вент}) \quad (3.26)$$

Подставляя данные в формулу (3.26), получим:

$$Q_{общ}^{год} = 15\ 500,21 \quad \text{кВт·ч/7год}$$

Инв. № подл.	Подпись и дата	Бзлм. инв. №

Изм.	Кол.	Лист	№док	Подпись	Дата

## Распределение теплопотерь по элементам одноэтажного жилого дома

Трансмиссионные теплопотери (теплопотери за счет теплопередачи),  $Q_{oep}$ , Вт, рассчитываются по формуле:

$$Q_{oep} = KA(t_b - t_h)n(1 + \Sigma\beta) \quad (3.27)$$

где:

K

- величина, обратная сопротивлению теплопередаче, Вт/(м<sup>2</sup>·°C)

n

- коэффициент положения ограждения относительно наружного воздуха

β

- коэффициент, учитывающий добавочные теплопотери

A

- площадь фрагмента, м<sup>2</sup>

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.	Лист	№док	Подпись	Дата

Таблица 3.16 — Теплопотери здания через ограждающие конструкции

Наименование фрагмента	$R_0^{\text{пп}}$ , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$	K, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	A, $\text{м}^2$	$t_b$ , $^\circ\text{C}$	$t_h$ , $^\circ\text{C}$	n	Ориентация по сторонам света	$\beta$	$Q_{\text{огр}}$ , $\text{Вт}$
Стены	3,18	0,31	96,3	21	-34	1	C	0,1	2 083
							Ю	0	
							В	0,1	
							З	0,05	
Кровля	5,22	0,19	100	21	-34	0,6	-	0	632
Пол по грунту	4,98	0,2	100	21	-34	0,9	-	0,05	1 044
Окна, балконные двери	0,59	1,69	21,6	21	-34	1	C	0,1	2 517
							Ю	0	
							В	0,1	
							З	0,05	
Двери	2	0,5	2,1	21	-34	1	-	0,81	105

Расход теплоты на нагревание вентиляционного воздуха,  $Q_{\text{вент}}$ , Вт, рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{вент}} = 0,28 L c \rho A (t_b - t_h) \quad (3.28)$$

где:

- количество приточного воздуха в здание при неорганизованном

$L_{\text{вент}} = 90,0$  притоке либо нормируемое значение при механической вентиляции,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$c = 1,006$  - теплоемкость воздуха,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$\rho = 1,2$  - плотность воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$t_h = -34$  - температура наружного воздуха,  $^\circ\text{C}$

Подставляя данные в формулу (3.28), получим:

$$Q_{вент} = 133\ 854 \quad \text{Вт}$$

Расход теплоты на нагревание инфильтрационного воздуха,  $Q_{инф}$ , Вт, рассчитывается по формуле:

$$Q_{инф} = 0,28 G_o c A (t_b - t_h) k \quad (3.29)$$

где:

$G_o = 2,5$  - расход инфильтрационного воздуха, кг/ч;

$c = 1,006$  - теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°C);

$k = 0,7$  - коэффициент учета влияния встречного теплового потока в воздухопроницаемых конструкциях.

Подставляя данные в формулу (3.29), получим:

$$Q_{инф} = 2\ 136 \quad \text{Вт}$$

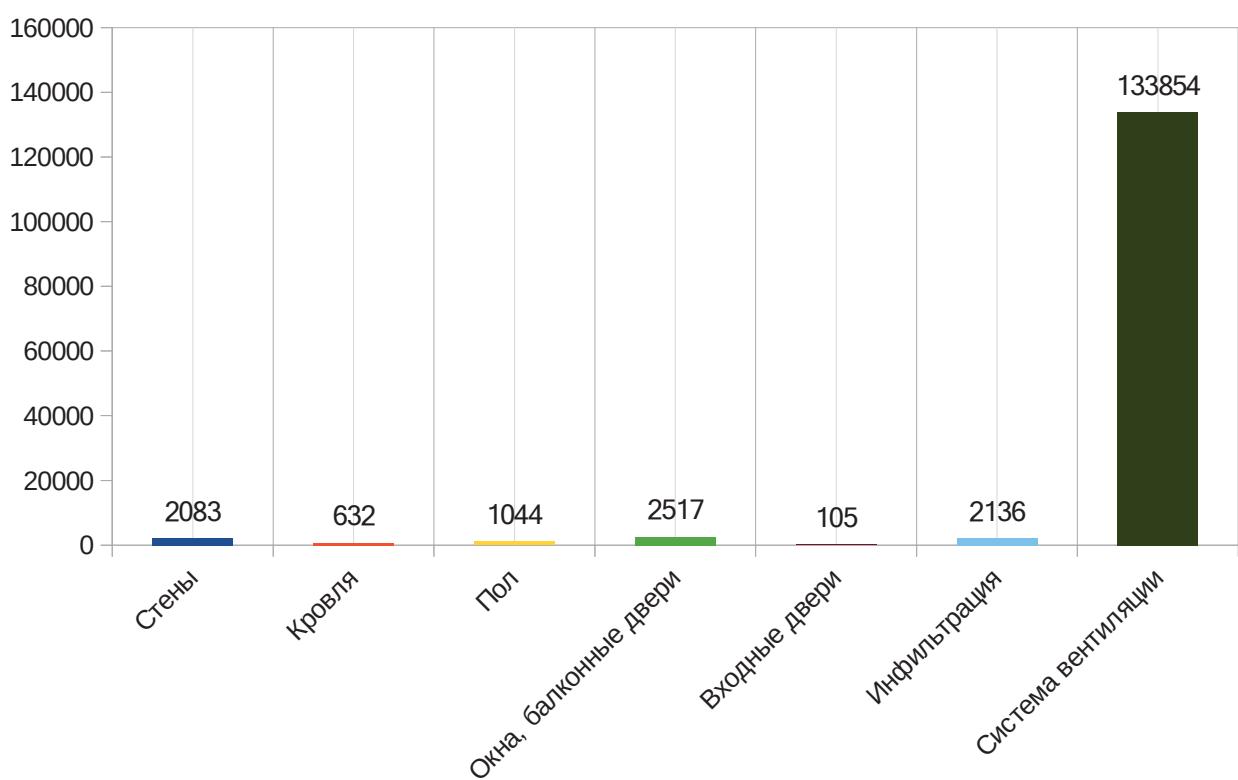


Рисунок 3.4 — Теплопотери здания

Инв. № подл.	Подпись и дата

## Выводы

По результатам расчетов приняты следующие характеристики утепления здания:

Таблица 3.17 Характеристики утепления фрагментов здания

Элемент ограждающей конструкции	Толщина утеплителя, мм	Теплопроводность утеплителя $\lambda_A$ , Вт/ (м <sup>2</sup> ·°C)	Расчетное сопротивление теплопередачи, $R_0^{пр}$ м <sup>2</sup> ·°C/Вт.
Стены	100	0,040	3,178
Кровля	200	0,032	5,218
Окна и балконные двери	-	-	0,59
Двери	-	-	2,00
Пол по грунту	100	0,032	4,979

Принятые в данном расчете характеристики соответствуют требованиям нормативной документации по теплотехнике в РФ.

Согласно современным нормам РФ, нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию малоэтажных жилых одноквартирных зданий не должна превышать 0,517 Вт/(м<sup>3</sup>·°C). В данном случае расчетное значение — 0,1664 Вт/(м<sup>3</sup>·°C). Отклонение расчетного значения удельной характеристики тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого составит 68%, что соответствует классу энергосбережения А++ (очень высокий), в соответствии с СП 50.13330.2012 таблица 15.

По современным нормам РФ жилой дом относится к высокому классу энергосбережения, но в соответствии с зарубежными нормами здание с такими характеристиками под категорию «Пассивный дом» не подходит.<sup>9</sup>

### **Выводы по разделу 3**

Принятые в данных расчетах характеристики соответствуют требованиям нормативной документации по теплотехнике в РФ.

Согласно зарубежным рекомендациям по проектированию пассивных домов «Пакет проектирования пассивного дома» (РНРР), удельный расход тепловой энергии не должен превышать  $15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$ . В данном расчете удельный расход тепловой энергии равен  $13,2 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$ . Отклонение расчетного значения удельной характеристики тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого составит 88,6%. Рассматриваемое здание соответствует зарубежным нормам пассивного дома.

Применяя к расчету современные нормы РФ, нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию малоэтажных жилых одноквартирных зданий не должна превышать  $0,517 \text{ Вт}/(\text{м}^3\cdot^\circ\text{C})$ . В данном случае расчетное значение —  $0,03 \text{ Вт}/(\text{м}^3\cdot^\circ\text{C})$ . Отклонение расчетного значения удельной характеристики тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого составит 94%, что соответствует классу энергосбережения A++ (очень высокий), в соответствии с СП 50.13330.2012 таблица 15.

Согласно современным нормам РФ, нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию малоэтажных жилых одноквартирных зданий не должна превышать  $0,517 \text{ Вт}/(\text{м}^3\cdot^\circ\text{C})$ . В данном случае расчетное значение —  $0,1664 \text{ Вт}/(\text{м}^3\cdot^\circ\text{C})$ . Отклонение расчетного значения удельной характеристики тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого составит 68%, что соответствует классу энергосбережения A++ (очень высокий), в соответствии с СП 50.13330.2012 таблица 15.

По современным нормам РФ жилой дом относится к высокому классу энергосбережения, но в соответствии с зарубежными нормами здание с такими характеристиками под категорию «Пассивный дом» не подходит.

Иzm.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что зарубежные требования к энергоэффективным домам значительно выше, чем современные требования Российской Федерации.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

ЮУрГУ 08.04.01 2017 328 ПЗ ВКР

Лист.  
102

# **4. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА ПАССИВНОГО ТИПА**

Тенденция последних лет на рынке недвижимости - это повышенный интерес к загородному индивидуальному жилищному строительству. Потребитель выбирает жилье с отсутствием соседей, с прилегающей территорией, с индивидуальным подходом к архитектурному облику здания и территории вокруг него.

С учетом повышающихся цен на топливо (газ, нефть), электроэнергию, правительством принято решение о снижении количества потребляемой энергии и переходе на возобновляемые источники энергии (солнце, ветер). Пассивный дом - это вполне реалистичный проект жилого дома, существующего на возобновляемых источниках энергии, грамотной планировке земельного участка и помещений дома, а так же на грамотно спроектированных инженерных системах.

Для расчета принимается, что затраты на проектирование и строительство несет только заказчик. Данный проект не имеет реальной прибыли, т.к. жилой дом строится исключительно для личного проживания без возможности получения прибыли от продажи площадей или аренды. Окупаемость проекта возможна при экономии затрат на оплату систем отопления и вентиляции.

#### **Финансовые данные проекта:**

Проектный срок окупаемости здания	расчетный
Проектный срок эксплуатации здания	120 лет
Показатель инфляции	2%
Рыночная процентная ставка	4,5%

## **Общая информация по проекту:**

<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>

ЮУрГУ 08.04.01 2017 328 ПЗ ВКР

Лист.

## Энергетическая система

Покрытие  
Пол по грунту  
Остекление и двери  
Система отопления  
Система "Теплый пол"  
Система горячего водоснабжения  
Система вентиляции с рекуперацией тепла

## Особенности здания:

Высота	Одноэтажное
Жилая площадь	80 м <sup>2</sup>
Отапливаемый объем здания	300 м <sup>3</sup>
Состав помещений	3 жилые комнаты Кухня Ванная комната и сан.узел
Расчетная температура в комнатах	21°C

## Метеорологические данные

Градусо-сутки отопительного периода	5995°C·сут/год
Отопительный период	218 сут.
Энергоноситель	котел
Ориентация здания по сторонам света запроектирована с учетом требований к пассивным домам, максимальной энергии солнечного света и блокировке холода с северной стороны здания. Принципиальная схема расположения помещений приведена на рисунке.	

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата



Рисунок 4.1 - Ориентация помещений здания по сторонам света

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

Затраты на возведение и инженерное оборудование здания приведены в таблице.

Таблица 4.1 - Затраты на возведение и инженерное оборудование здания

Конструкция здания	Наименование компонента	Кол-во	Полные расходы, руб.		Срок службы
			Пассивный дом	Обычный дом	
Стены	Ячеистые блоки	48 м <sup>3</sup>	154150	154150	Как у здания в целом
	Теплоизоляция, толщина 350мм/100мм	120 м <sup>2</sup>	77900	22600	
	Наружная отделка	120 м <sup>2</sup>	86000	86000	
Остекление и двери	Энергоэффективное остекление		122550		30
	Остекление			85400	
	Наружная дверь	1	11450		25
				9350	
Покрытие	Конструкция плоской кровли, покрытие	100 м <sup>2</sup>	313900	313900	Как у здания в целом
	Изоляция, толщина 350мм/200мм	100 м <sup>2</sup>	51050	29170	
Пол	Конструкция пола по грунту	100 м <sup>2</sup>	328200	328200	Как у здания в целом
	Изоляция пола 250мм/50мм	100 м <sup>2</sup>	41000	8200	
Ограждающие конструкции			1186200	1036970	
Система отопления	Теплый пол	100 м <sup>2</sup>	156900		25
	Газовый котел с воздуховодом		74700	74700	25
Система вентиляции	Приточно-вытяжная установка с рекуператором		156619		30
	Теплопроводы		35550		20
	Гибкие воздуховоды		13650	13650	20
	Радиаторы отопления			61000	30
Энергетические системы здания			437419	149350	
Итого			1623619	1186320	

Проведенный теплотехнический расчет пассивного дома и обычного дома позволил получить данные о затратах энергии на отопление и вентиляцию зданий в год. На основе полученных данных и стоимости единицы энергии проведем сравнительный расчет строительства и эксплуатации пассивного и обычного дома.

Таблица 4.2 - Стоимостная характеристика единицы энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период

	Количество, кВт·ч/год		Стоимость ед. энергии, руб.
	Пассивный дом	Обычный дом	
Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	1318,66	7181,77	3,94

Расчет проведен с учетом инфляции 2%. Основные позиции для расчета это затраты на строительство дома и суммарная стоимость эксплуатации здания, в которую включена возрастающая стоимость энергии на отопление и вентиляцию здания. Для укрупненного расчета проигнорированы затраты на ремонт и реконструкцию элементов здания и оборудования с эксплуатационным сроком меньшим, чем продолжительность эксплуатации здания в целом.

Данные расчета сведены в общую таблицу.

Таблица 4.3 - Расчетные данные затрат на строительство и эксплуатацию здания

Период времени, год	Пассивный дом		Обычный дом		Экономия в год
	Строительство/эксплуатация	Общие затраты	Строительство/эксплуатация	Общие затраты	
1	0	0	0	0	
2	1623619	1623619	1186320	1186320	
3	5195.5	1628814.5	28296.2	1214616.2	
4	5299.41	1634113.91	28862.12	1243478.32	
5	5403.32	1639517.23	29428.04	1272906.36	

6	5507.23	1645024.46	29993.96	1302900.32	
7	5611.14	1650635.6	30559.88	1333460.2	
8	5715.05	1656350.65	31125.8	1364586	
9	5818.96	1662169.61	31691.72	1396277.72	
10	5922.87	1668092.48	32257.64	1428535.36	
11	6026.78	1674119.26	32823.56	1461358.92	
12	6130.69	1680249.95	33389.48	1494748.4	
13	6234.6	1686484.55	33955.4	1528703.8	
14	6338.51	1692823.06	34521.32	1563225.12	
15	6442.42	1699265.48	35087.24	1598312.36	
16	6546.33	1705811.81	35653.16	1633965.52	
17	6650.24	1712462.05	36219.08	1670184.6	
18	6754.15	1719216.2	36785	1706969.6	
19	6858.06	1726074.26	37350.92	1744320.52	30492.86
20	6961.97	1733036.23	37916.84	1782237.36	30954.87
21	7065.88	1740102.11	38482.76	1820720.12	31416.88
22	7169.79	1747271.9	39048.68	1859768.8	31878.89
23	7273.7	1754545.6	39614.6	1899383.4	32340.9
24	7377.61	1761923.21	40180.52	1939563.92	32802.91
25	7481.52	1769404.73	40746.44	1980310.36	33264.92
26	7585.43	1776990.16	41312.36	2021622.72	33726.93
27	7689.34	1784679.5	41878.28	2063501	34188.94
28	7793.25	1792472.75	42444.2	2105945.2	34650.95
29	7897.16	1800369.91	43010.12	2148955.32	35112.96
30	8001.07	1808370.98	43576.04	2192531.36	35574.97
31	8104.98	1816475.96	44141.96	2236673.32	36036.98
32	8208.89	1824684.85	44707.88	2281381.2	36498.99
33	8312.8	1832997.65	45273.8	2326655	36961
34	8416.71	1841414.36	45839.72	2372494.72	37423.01
35	8520.62	1849934.98	46405.64	2418900.36	37885.02
36	8624.53	1858559.51	46971.56	2465871.92	38347.03
37	8728.44	1867287.95	47537.48	2513409.4	38809.04
38	8832.35	1876120.3	48103.4	2561512.8	39271.05
39	8936.26	1885056.56	48669.32	2610182.12	39733.06
40	9040.17	1894096.73	49235.24	2659417.36	40195.07
41	9144.08	1903240.81	49801.16	2709218.52	40657.08
42	9247.99	1912488.8	50367.08	2759585.6	41119.09
43	9351.9	1921840.7	50933	2810518.6	41581.1
44	9455.81	1931296.51	51498.92	2862017.52	42043.11
45	9559.72	1940856.23	52064.84	2914082.36	42505.12
46	9663.63	1950519.86	52630.76	2966713.12	42967.13
47	9767.54	1960287.4	53196.68	3019909.8	43429.14

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата	Лист.
					108

48	9871.45	1970158.85	53762.6	3073672.4	43891.15
49	9975.36	1980134.21	54328.52	3128000.92	44353.16
50	10079.27	1990213.48	54894.44	3182895.36	44815.17
51	10183.18	2000396.66	55460.36	3238355.72	45277.18
52	10287.09	2010683.75	56026.28	3294382	45739.19
53	10391	2021074.75	56592.2	3350974.2	46201.2
54	10494.91	2031569.66	57158.12	3408132.32	46663.21
55	10598.82	2042168.48	57724.04	3465856.36	47125.22
56	10702.73	2052871.21	58289.96	3524146.32	47587.23
57	10806.64	2063677.85	58855.88	3583002.2	48049.24
58	10910.55	2074588.4	59421.8	3642424	48511.25
59	11014.46	2085602.86	59987.72	3702411.72	48973.26
60	11118.37	2096721.23	60553.64	3762965.36	49435.27
Итого:					1678490.7

Табличные данные наиболее наглядно видны на графике.

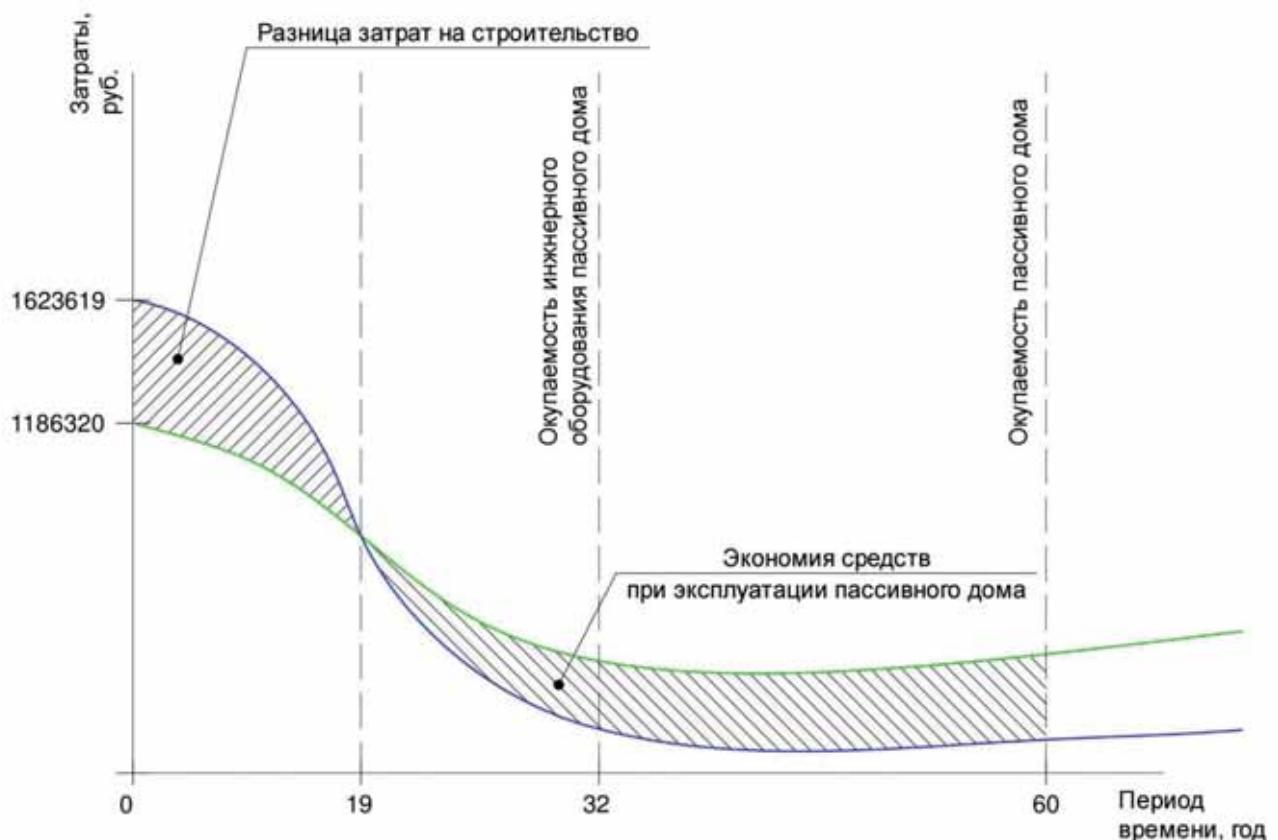


Рисунок 4.2 - Период окупаемости зданий

## **Выводы по разделу 4**

Сравнительный расчет затрат показал, что затраты на строительство пассивного дома превышают затраты на строительство обычного дома на 437299 тыс. руб.

Затраты на строительство и эксплуатацию зданий сравняются через 19 лет. С этой нулевой точки начинается процесс экономии затрат на эксплуатацию пассивного дома. Экономия в первый год эксплуатации составит 30492.86 рублей.

Окупаемость инженерного оборудования, установленного в пассивном доме за счет экономии средств произойдет через 32 года с момента ввода в эксплуатацию пассивного дома.

Окупаемость строительства и эксплуатации жилого дома, за счет сэкономленных средств, прогнозируется через 60 лет после ввода в эксплуатацию дома.

При заданных условиях, что проектируемый срок эксплуатации пассивного дома 120 лет, прогнозируемая окупаемость за счет экономии средств будет достигнута через половину срока.

Средняя экономия средств на отопление и вентиляцию в год пассивного дома, относительно обычного, в период получения условной прибыли составляет 37654 рублей.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате проведенной работы были выявлены оптимальные конструктивные и инженерные решения для проектирования пассивного дома. Доказано, что правильная ориентация по сторонам света здания, способствует улучшению энергосберегающих характеристик здания. Математическими расчетами доказана и обоснована возможность проектирования и строительства индивидуального жилого дома пассивного типа на территории Челябинской области.

С помощью данных, полученных из математической модели проектируемого пассивного дома, произведены укрупненные расчеты стоимости строительства и эксплуатации пассивного жилого дома. Доказана возможность функционирования пассивной системы в климатических условиях Челябинской области.

Сравнительный расчет затрат показал, что затраты на строительство пассивного дома превышают затраты на строительство обычного дома.

Затраты на строительство и эксплуатацию зданий сравняются через 19 лет. С этой нулевой точки начинается процесс экономии затрат на эксплуатацию пассивного дома.

Окупаемость инженерного оборудования, установленного в пассивном доме за счет экономии средств произойдет через 32 года с момента ввода в эксплуатацию пассивного дома.

Окупаемость строительства и эксплуатации жилого дома, за счет сэкономленных средств, прогнозируется через 60 лет после ввода в эксплуатацию дома. При заданных условиях, что проектируемый срок эксплуатации пассивного дома 120 лет, прогнозируемая окупаемость будет достигнута за половину срока эксплуатации. Остальной срок жизни здания - это чистая экономия средств жильца.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

Результаты работы рекомендуется использовать при дальнейшем изучении системы Пассивного дома и для внедрения пассивных индивидуальных домов в практику массового строительства на территории Челябинской области

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

ЮУрГУ 08.04.01 2017 328 ПЗ ВКР

Лист.

112

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Городов О. А. Введение в энергетическое право. Учебное пособие. М.: ООО «Проспект», 2014. 241 с.
2. ГОСТ 23166-99 «Блоки оконные. Общие технические условия»;
3. ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях»;
4. ГОСТ 30970-2014 «Блоки дверные из поливинилхлоридных профилей»;
5. ГОСТ Р 54851-2011 «Конструкции строительные ограждающие неоднородные. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче»;
6. ГОСТ Р 56734-2015 «Здания и сооружения. Расчет показателя теплозащиты ограждающих конструкций с отражательной теплоизоляцией»;
7. Гурлак Л. И., Бубнович С. Н. Обоснование целесообразности использования пассивных домов // Научный вестник ВГАСУ. Серия: Высокие технологии. Экология, 2015. № 1. С. 33-36.
8. Давыдянц Д. Е., Жидков В. Е., Зубова Л. В. К определению понятий «энергосбережение и энергоэффективность»//Фундаментальные исследования, 2014. № 9 (часть 6). С. 1294-1296
9. Институт пассивного дома. - <http://www.passiv-rus.ru/item/5-perviy-passivnyi-dom/>
10. Малявина Е. Г. Теплопотери здания: справочное пособие / Е. Г. Малявина. — М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. - 144 с. — 2 000 экз. - ISBN 978-5-98267-030-4
11. Матвийчук Т. А. Пассивный дом – дом будущего // International Scientific Review, 2016. № 4 (14). С. 57-59.
12. Наназашвили В. И., Наназашвили И. Х. Ресурсосбережение в строительстве. Справочное пособие. М.:Литрес, 2015. 489 с
13. Смирнова Т. В. Опыт эксплуатации «пассивных» домов в России и Западной Европы // Academia. Архитектура и строительство, 2009. № 5. С. 430-432.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата

14. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»;
15. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий»;
16. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»;
17. СТО 00044807-001-2006 «Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий»;
18. ТСН 23-320-2000 «Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий. Нормативы по теплозащите зданий. Челябинская область»;
19. Указ Президента РФ от 4 июня 2008 г. № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики»;
20. Файст, Вольфганг. Основные положения по проектированию пассивных домов. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008.–144 с;
21. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»;
22. Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «О техническом регулировании»;
23. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
24. Чесноков А. Г. Особенности ресурсосбережения в строительстве России / А. Г. Чесноков //Строительство и бизнес, 2003. № 7. С. 42-46.
25. Энергоэффективные проекты//Rockwool Russia Group
26. Эффективное энергосбережение. - <http://portalenergo.ru/articles/details/id/728/>
27. Яковлев А. С., Барышева Г. А. Энергоэффективность и энергосбережение в России на фоне опыта зарубежных стран // Известия Томского политехнического института, 2012. № 6. С. 48-52.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата