

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Инженерно-строительный институт  
Кафедра проектирования зданий и экспертизы недвижимости

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
Р.А. Назиров  
подпись      инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021г.

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Пассивный дом в условиях Красноярского края  
тема

08.04.01 «Строительство»  
код и наименование направления

08.04.01.04 «Проектирование зданий. Энерго- и ресурсосбережение»  
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	_____	<u>доцент, к.т.н.</u>	<u>Е.М.Сергуничева</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>М.Е. Тюменцев</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	_____	_____
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Красноярск 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Понятие пассивного дома.....	5
1.1 Определение понятия пассивный дом и его специфика .....	5
1.2 Объемно-планировочные решения .....	7
1.3 Конструктивные решения .....	8
1.4 Инженерно-технические решения.....	12
1.4.1 Система приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией .....	13
1.4.2 Грунтовые теплообменники.....	17
1.4.3 Гелиоприемники.....	19
1.4.4 Тепловые насосы .....	20
2 Характеристика климатических условий .....	24
3 Подбор энергоэффективного утеплителя .....	26
4 Расчет теплоэнергетических параметров здания.....	30
4.1 Общая характеристика здания.....	30
4.2 Расчет теплоэнергетических параметров здания с применением энергоэффективных инженерных и конструктивных решений для условий южной части Красноярского края.....	31
4.2.1 Климатические показатели.....	31
4.2.2 Описание ограждающих конструкций здания .....	32
4.2.3 Теплотехнический расчет ограждающих конструкций .....	33
4.2.4 Расчет удельных характеристик здания.....	40
4.2.5 Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период.....	46
4.2.6 Общие теплотери здания за отопительный период.....	46
4.2.7 Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период.....	47
4.3 Расчет теплоэнергетических параметров здания стандартного энергопотребления для условий южной части Красноярского края.....	47
4.3.1 Климатические показатели.....	47
4.3.2 Описание ограждающих конструкций здания .....	47
4.3.3 Теплотехнический расчет ограждающих конструкций .....	48
4.3.4 Расчет удельных характеристик здания.....	54
4.3.5 Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период.....	57
4.3.6 Общие теплотери здания за отопительный период.....	57
4.3.7 Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период.....	57
4.4 Расчет теплоэнергетических параметров здания с применением энергоэффективных инженерных и конструктивных решений для условий северной части Красноярского края .....	58
4.4.1 Климатические показатели.....	58

4.4.2	Описание ограждающих конструкций здания .....	59
4.4.3	Теплотехнический расчет ограждающих конструкций .....	59
4.4.4	Расчет удельных характеристик здания.....	65
4.4.5	Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период.....	68
4.4.6	Общие теплотери здания за отопительный период.....	68
4.4.7	Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период.....	68
4.5	Расчет теплоэнергетических параметров здания стандартного энергопотребления для условий северной части Красноярского края .....	69
4.5.1	Климатические показатели.....	69
4.5.2	Описание ограждающих конструкций здания .....	69
4.5.3	Теплотехнический расчет ограждающих конструкций .....	69
4.5.4	Расчет удельных характеристик здания.....	75
4.5.5	Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период.....	78
4.5.6	Общие теплотери здания за отопительный период.....	79
4.5.7	Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период.....	79
5	Технико-экономический анализ .....	80
5.1	Локально-сметные расчеты.....	80
5.2	Затраты на эксплуатацию.....	82
	Заключение .....	90
	Список использованных источников .....	91
	Приложение 1 .....	93

## ВВЕДЕНИЕ

Энергосбережение с каждым годом становится все более актуальной проблемой. Ограниченность энергетических ресурсов, высокая стоимость энергии, негативное влияние на окружающую среду, связанное с ее производством, - все эти факторы невольно наводят на мысль, что разумней снижать потребление энергии, нежели постоянно увеличивать ее производство, а значит, и количество проблем. Во всем мире уже давно ведется поиск путей уменьшения энергопотребления за счет его рационального использования.

И строительный комплекс является чуть ли не самым крупным потребителем энергоресурсов. Однако, в отличие от иных сфер, строительство имеет огромное число возможностей и путей для экономии энергии.

На сегодняшний день актуальна проблема снижения энергопотребления жилых домов, что также дало толчок для развития энергосберегающих технологий. В атмосферу в результате обогрева домов выбрасывается огромное количество углекислого газа, что приводит к развитию «парникового эффекта». Энергосберегающие технологии позволяют решить сразу несколько задач:

- Экономия энергоресурсов
- Уменьшение загрязнения окружающей среды
- Увеличение рентабельности предприятий
- Энергосбережение в России

В данной диссертации рассматривается строительство малоэтажных многоквартирных пассивных жилых домов в условиях Красноярского края и разработка рекомендаций по конструктивным и инженерно-техническим решениям, применяемым для осуществления данного вида строительства.

## **1 Понятие пассивного дома**

### **1.1 Определение понятия пассивный дом и его специфика**

Энергосбережение на сегодняшний день рассматривается многими развитыми странами как одна из важнейших национально-экологических и экономических проблем. Раскрывая проблему с точки зрения экономики, необходимо отметить, что затраты на энергию сегодня составляют большую часть себестоимости любого вида услуг, товаров или продукции. Одним из эффективных решений данной проблемы является строительство «пассивного» дома. Однако, прежде чем углубляться в тему создания пассивных домов, необходимо понять, что в себе закладывает понятие пассивного дома.

Понятие пассивного дома предложили в мае 1988 года доктор Вольфганг Файст, позднее основатель «Института пассивного дома» в Дармштадте (Германия), и профессор Бо Адамсон из Лундского университета (Швеция). В дальнейшем их концепция разрабатывалась в многочисленных исследовательских проектах, финансируемых землёй Гессен, Германия. В 1996 году был создан «Институт пассивного дома» в городе Дармштадт.

Для понимания сущности «пассивного» дома следует рассмотреть некоторые подходы к определению. Так, с точки зрения В. И. Ресина пассивный дом или энергосберегающий дом – сооружение, основной особенностью которого является низкое энергопотребление за счёт применения пассивных методов энергосбережения. Пассивный дом потребляет в среднем примерно 10% от удельной энергии на единицу площади, потребляемой большинством традиционных зданий.

В книге Вольфганга Файста «Основные положения по проектированию пассивных домов» пассивный дом определяется как «здание со столь малым расходом тепловой энергии на отопление, что отдельная система отопления становится ненужной. Необходимое тепло можно подвести благодаря уже имеющейся системе вентиляции» [1].

Таким образом, проанализировав вышеперечисленное, можно сделать вывод, что «пассивные» дома – это здания с незначительными требованиями к теплообеспечению, которые не нуждаются в активном отоплении. Такие дома должны быть «пассивно» теплыми, используя имеющиеся внутренние источники тепла, солнечную энергию, попадающую через окна и нагревающую воздух.

Теплоизоляция здания считается самой лучшей тогда, когда значительно снижаются теплопотери. Для достижения параметров «пассивного дома» следует существенно пересмотреть конструктивные особенности типовых зданий и сооружений. В таком доме удельный расход тепловой энергии на отопление не должен превышать 15 кВтч/(м<sup>2</sup> год). Это приблизительно соответствует расчетной мощности подогрева 7-10 Вт на квадратный метр, что составляет 10% от уровня расчетной мощности отопительных систем обычных домов. Общее потребление первичной энергии для всех бытовых нужд

(отопление, горячая вода и электрическая энергия), не должно превышать 120 кВтч/(м<sup>2</sup> год).

В связи с климатическими особенностями северных регионов, инициатива PEP (Promotion of European Passive houses) предлагает внести изменения, касающиеся нормативного (для целей сертификации) удельного расхода тепловой энергии для «северных стран», расположенных выше 60° широты, увеличив его до 20-30 кВтч/м<sup>2</sup> в зависимости от конкретных климатических условий местонахождения. Для первичной энергии предлагаемый норматив может составить 120 – 140 кВтч/м<sup>2</sup>. Тем не менее, действующие в настоящее время критерии сертификации пассивных домов предусматривают максимальный расход тепловой энергии в размере 15 кВтч/(м<sup>2</sup>а) независимо от региона.

В идеале, пассивный дом должен быть независимой энергосистемой, которая не требует расходов на обеспечение комфортной температуры. Отопление такого дома должно происходить благодаря теплу, выделяемому живущими в доме людьми и бытовыми приборами. При необходимости дополнительного обогрева, можно использовать альтернативные источники энергии. Горячее водоснабжение может обеспечиваться за счет различных устройств: тепловых насосов или солнечных водонагревателей. Решать проблему кондиционирования здания предполагается за счет соответствующего архитектурного решения, а в случае необходимости дополнительного охлаждения – за счет альтернативных источников энергии, например, геотермального теплового насоса.

При проектировании пассивного дома должны соблюдаться следующие принципы:

- компактность;
- качественное и эффективное утепление;
- отсутствие мостиков холода в ограждающих конструкциях и узлах примыканий;
- правильная геометрия здания;
- зонирование;
- а также ориентация по сторонам света и относительно розы ветров.

Зачастую в «пассивном» доме обязательным является использование системы приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией, которая позволяет вторично использовать тепло отводимого загрязненного воздуха для нагрева приточного холодного воздуха.

Схема устройства вентиляции пассивного дома отражена на рисунке 1.1.

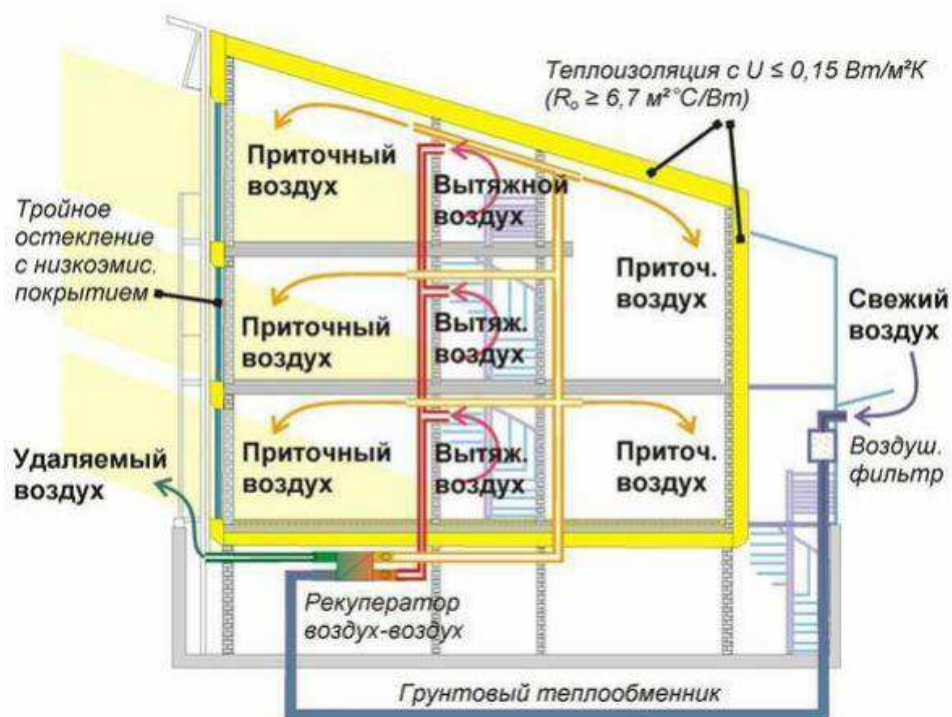


Рисунок 1.1 – Принцип пассивного дома

Основные способы проектирования энергоэффективного дома можно разбить на несколько важных разделов:

- Объемно-планировочные решения;
- Конструктивные решения;
- Инженерные и технические решения.

Для того, чтобы определиться с тем, какие решения рационально применять в условиях Красноярского края и какие требуются доработки, необходимо обратиться к опыту и решениям, зарекомендовавшим себя в строительстве пассивных домов на Российской территории и за рубежом. Детальное описание каждого решения приведено в последующих пунктах данной главы.

## 1.2 Объемно-планировочные решения

Под объёмным планированием подразумевают расположение и компоновку зданий в соответствии с экономическими, функциональными, техническими и архитектурно-художественными требованиями.

В качестве основных объемно-планировочных принципов можно выделить следующие:

- максимальная компактность здания. Компактность — это соотношение площади ограждающих конструкций (оболочки здания) и всего объема здания (его полезной площади). Чем меньше площадь ограждающих конструкций по отношению к полезной площади здания, тем компактнее оно;

- по возможности полное отсутствие эркеров, внутренних углов, балконов и т.п. Идеальной считается максимальная приближенность формы здания к самой компактной: форма полушара, стоящему срезом на земле;
- зонирование: разделение на буферные и жилые зоны;
- дополнительные архитектурные элементы, защищающие строения от летнего солнца и от зимнего ветра (козырьки, навесы, заграждения и т.д.);
- расположение вспомогательных помещений с севера в качестве буферных зон;
- расположение жилой зоны на юго-востоке;
- расположение зимних садов с южной стороны.

### 1.3 Конструктивные решения

К конструктивным решениям относится повышение теплового сопротивления ограждающих конструкций и сокращение утечек тепла.

В понятие ограждающих конструкций входят стены, крыша, окна, входные двери, пол первого этажа, фундамент.

Основными принципами, которые должны соблюдаться при повышении теплового сопротивления ограждающих конструкций, являются:

- Разделение функций строительных материалов в конструкциях. Конструкционные и крепежные элементы должны обеспечивать прочность, утеплители должны обеспечивать тепловую изоляцию, декоративно-отделочные материалы - внешний вид. При таком подходе удастся сократить количество "тепловых мостов", по которым тепло из дома может выходить наружу.

- Теплоизоляция должна располагаться равномерно и непрерывно по всему контуру здания.

- Качество теплоизоляционного материала: его коэффициент теплопроводности, уровень паронепроницаемости и теплоотражающих свойств, необходимая толщина слоя утеплителя.

- Мостики холода должны максимально исключаться и при необходимости иметь дополнительную теплоизоляцию.

- По всему контуру здания должна быть проложена воздухонепроницаемая оболочка, обеспечивающая герметизацию здания.

Наиболее проблемные места для теплозащиты здания:

- места сочленения крыши и стен;
- места примыкания перекрытий и стен;
- контуры установки оконных коробок и примыкания фрамуг;
- места примыкания стен к фундаменту.

Как правило, места примыкания стараются делать с применением термовкладок из конструкционных материалов с низкой теплопроводностью. Например, блоки из ячеистого бетона, специальных видов кирпича и т.д. Места



сочленений дополнительно герметизируют различными видами герметиков, пластичными строительными растворами.

Стены пассивного дома могут быть из разных материалов – всё дело в технологии возведения.

В случае деревянных стен для уменьшения тепловых потерь можно наращивать толщину: увеличивать диаметр бревна, сечение бруса и т.п. При достаточной толщине материала дополнительная теплоизоляция стене уже не потребуется, если, конечно, тепло не будет уходить через мостики холода. Чтобы исключить такие теплопотери, применяют специальные способы рубки бревенчатых срубов, а также утепляют те элементы стеновой конструкции, через которые может проникнуть холод. Стена из бруса не будет пропускать тепло, если обеспечено плотное примыкание стеновых элементов за счет профилирования и высокоточной обработкой брусьев. Еще надежнее в этом отношении клееный брус, который не претерпевает усадки, сохраняя первоначальную геометрию в течение всего срока эксплуатации, что, конечно же, положительно сказывается на теплотехнических характеристиках стеновой конструкции.

Пассивный дом можно создать и на базе каркасных стен. Необходимо правильно устроить стеновой «слоеный пирог». В него обязательно входит утеплитель, чаще всего из минеральной ваты. Внутри стеновой конструкции находятся также гидроизоляционные пленки, пароизоляционные мембраны; кроме того, нередко используют специальные теплоизоляционные фасадные материалы и системы. При использовании в качестве утеплителя льняных матов или целлюлозной эковаты не требуется сплошная пароизоляция – такая стена "дышит", как деревянная. Стены, устроенные по всем правилам, очень теплые, а постройка после закрытия теплового контура представляет собой своеобразный термос, из которого тепло практически не уходит наружу.

Теплоизоляция оболочки пассивного дома оказывает решающее влияние на необходимое потребление тепловой энергии на отопление. Эта теплоизоляция должна:

- иметь высочайшее качество;
- укладываться плотно и без зазоров вокруг всего здания.

Эффективный пассивный способ сохранения тепла, полученного от солнечной радиации и внутренних источников тепла – установка массивных аккумулирующих элементов внутри здания. Подобными элементами могут служить стены из полнотелого кирпича или бетона.

Существует множество материалов, которые можно применять для теплоизоляции в пассивном строительстве. Основные требования к ним: долговечность, надежность, экологичность и пожаробезопасность. Следует учитывать, что для обеспечения необходимого термического сопротивления выбранный материал должен иметь соответствующую толщину.

В таблице 1.1 приведен перечень материалов и соответствующая толщина слоя для обеспечения коэффициента теплопроводности не выше 0,15 Вт/м<sup>2</sup>·К для ограждающей конструкции пассивного дома.

Таблица 1.1 – Соотношение материалов и толщин

Название	Толщина, см
1	2
Пресованная солома	55
Пеностекло	52
Плиты из коркового дерева	30
Минеральная вата	26-28
Пенопласт	25-28
Экструдированный пенополистирол	23
Вакуумная изоляция	4-5

Широкое распространение, как теплоизоляционный материал получило пеностекло. Его используют в виде плит толщиной от 20 до 50 см. Наименьшую толщину имеет вакуумная изоляция, представляющая собой панели с откачанным воздухом.

В России вакуумная изоляция еще не получила свою долю популярности, так как это достаточно новая технология, однако производство утеплителей из различных материалов на территории Российской Федерации отлично налажено и продолжает развиваться.

Пример стыка кровли и наружной стены, выполненного с высокими теплоизоляционными характеристиками и без тепловых мостов (проект SERNEUS в г. Хорне, Австрия, архитектор Treberspurg из Вены) представлен на рисунке 3.3.

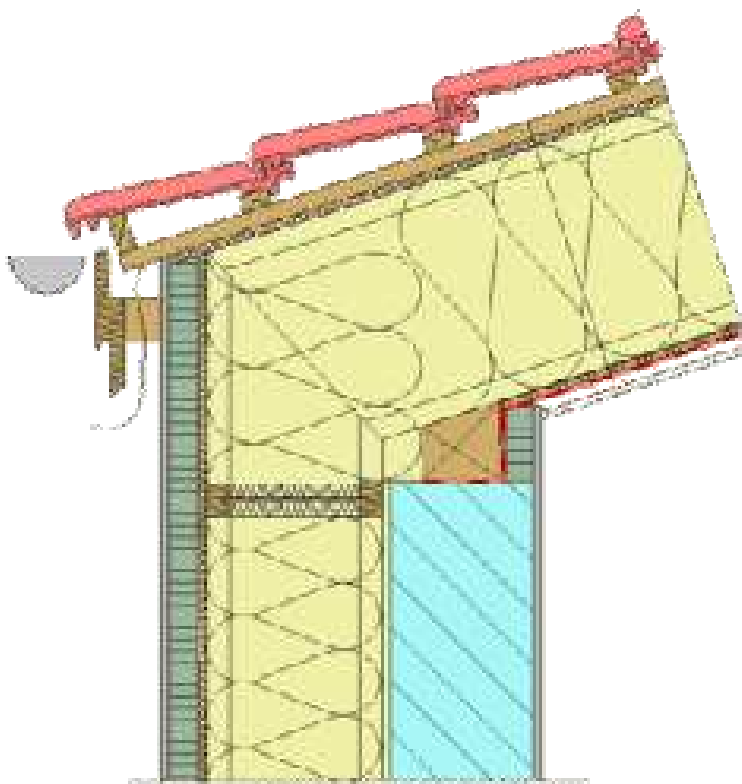


Рисунок 1.2 – Пример стыка кровли и наружной стены

В качестве конструктивного решения стоит рассмотреть преимущества и недостатки купольных (шатровых) строений, которые представил в современном виде американец Ричард Бакминстер Фуллер. Площадь стен купольного дома значительно меньше, чем у прямоугольных строений. Так, дом прямоугольной формы размером 10x10 м имеет площадь 100 м<sup>2</sup>, а периметр основания 40 м. Купольный дом такой же площади имеет радиус 5,65 м. При этом периметр основания составит 35,5 м, а общая площадь поверхности составит 200,5 м<sup>2</sup>. Площадь стен и потолка прямоугольного строения такой же высоты составит 326 м<sup>2</sup> не считая площади крыши.

Купольные строения за счет своей обтекаемой формы менее подвержены ветровой нагрузке. Давление стен на основание распределяется равномерно, а малый вес строения не требует массивного глубокого фундамента. В качестве основания зачастую достаточно бетонной площадки, так называемого плавающего фундамента, в большей мере служащего для удержания каркаса при ветровом воздействии. За счет этого купольные строения являются сейсмостойкими. Купольные строения имеют одну цельную крышу, одновременно являющуюся и стенами. Для купольных строений не требуются системы водоотведения. Это способствует экономии строительных материалов. Циркуляция воздуха в купольных строениях происходит более равномерно, не создавая мертвых зон, как в углах прямоугольных строений. За счет этого тепло равномерно распространяется по всему помещению. Отопление осуществляется через теплый пол по всей площади или по периметру. Затраты на отопление купольных строений до 40 % меньше прямоугольных. Еще одним преимуществом купольных строений является простота сборки, не требующая тяжелой строительной техники.



Рисунок 1.3 – Купольный дом

На южных фасадах также возможно использование стены Тромба-Мишеля, которая предназначена для улавливания и накопления солнечного излучения и представляет собой стену, изготовленную из материала, обладающего высокой теплоемкостью, окрашенного в темный цвет. Расположенная на расстоянии 0,6–1 м от остекления, стена в дневное время активно нагревается и запасает тепло, которое распределяется по помещениям в темное время суток. Данная конструкция совмещает в себе коллектор и аккумулятор тепла, а также выполняет функцию термостабилизации.

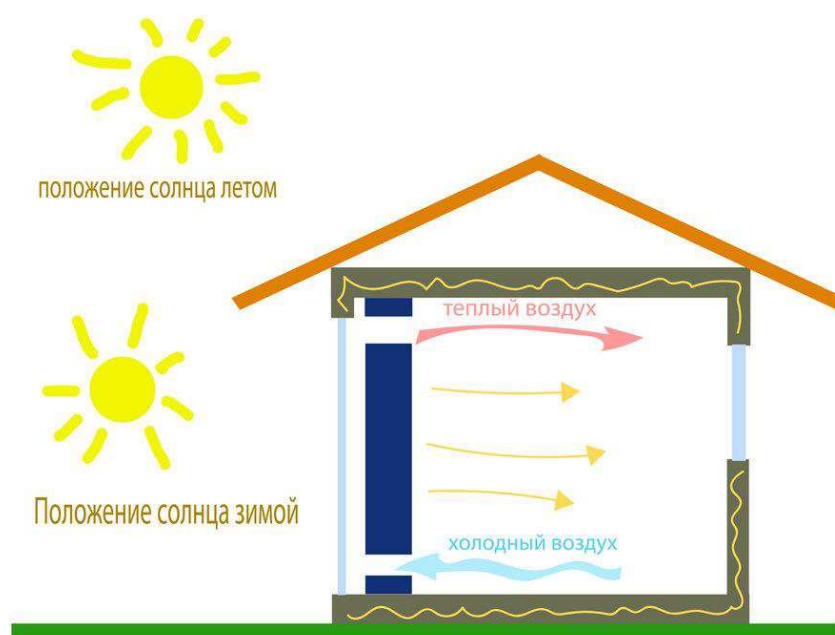


Рисунок 1.4 – Схема работы стены Тромба

#### 1.4 Инженерно-технические решения

Инженерные решения способствуют тому, чтобы сделать дом полностью энергонезависимым. К основным инженерно-техническим решениям можно отнести:

- Система приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией;
- Использование грунтовых теплообменников для пассивного предварительного подогрева и охлаждения воды и воздуха;
- Гелиоприемники – в виде особо сконструированных панелей из фотоэлектрических элементов, обеспечивающих получение электроэнергии;
- Тепловой насос – устройство для переноса энергии от источника тепловой энергии с низкой температурой к теплоносителю с более высокой температурой.

За исключением вышеперечисленных, есть и другие полезные решения для повышения энергоэффективности дома. Например, растительность и почва на крыше здания для увеличения теплоизоляции: сохранение прохлады в

жаркое время и тепла в зимнее время. Кроме того, зелёные крыши удерживают осадки, снижают нагрузку на канализационные системы, защищают кровельные мембраны, снижают шум и фильтруют загрязняющие вещества.

### 1.4.1 Система приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией

Система приточно-вытяжной вентиляции — это система вентиляции, которая обеспечивает приток чистого и свежего воздуха в помещение, а также удаляет вредный отработанный воздух из него. Обе этих функции выполняются одновременно. Как правило, подобную вентиляцию устанавливают в загородных домах площадью свыше 100 кв.м.

Основным элементом вентиляционной установки является рекуператор, который представляет собой высокоэффективный воздушный теплообменник с вентиляторами. Принцип работы рекуперационной установки представлен на рисунке 2.5. Холодный приточный воздух нагревается в теплообменнике за счет тёплого «отработанного» воздуха из помещения. Эффективность таких теплообменников может достигать значения 92%. Для пассивного дома эффективность теплообмена рекуператора должна быть не менее 80%.

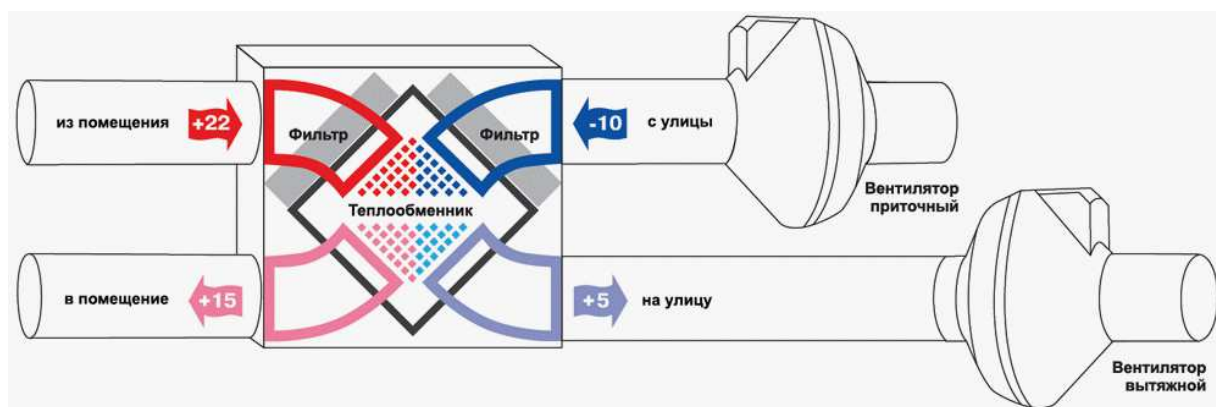


Рисунок 1.5 - Принцип работы рекуперационной установки

Использовать приточно-вытяжную систему вентиляции с рекуперацией в загородных домах очень выгодно, так как резко снижаются расходы на отопление дома. Ведь благодаря встроенной системе теплообмена (рекуперации тепла) отпадает необходимость в подогреве входящего потока воздуха, вследствие чего значительно экономятся энергозатраты, идущие на обогрев дома.

Рекуператоры бывают двух видов: пластинчатые и роторные.



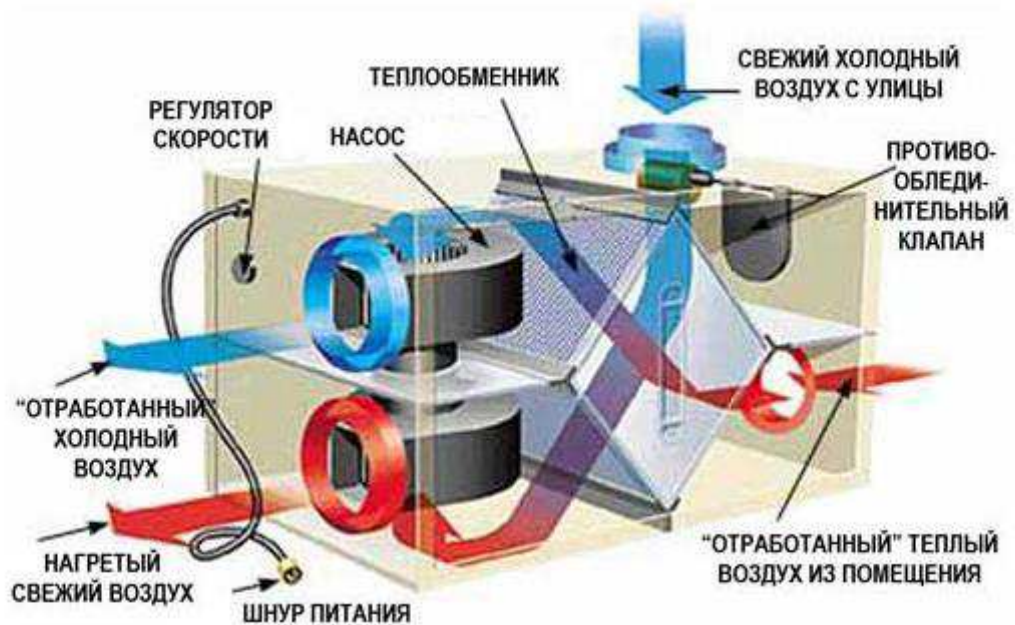


Рисунок 1.6 - Пластинчатый рекуператор

В данном варианте выходящий из помещения воздух нагревает пластины теплообменника, отдает им свое тепло и удаляется на улицу холодным. Входящий же свежий воздух забирает тепло от пластин теплообменника, подогревается и доставляется в помещения уже нагретым. Эффективность пластинчатого рекуператора составляет до 60%, в зависимости от установки. Ключевыми особенностями конструкции являются простота и дешевизна, при этом потоки входящего и выходящего воздуха не перемешиваются, что обеспечивает 100% экологичность такой установки.

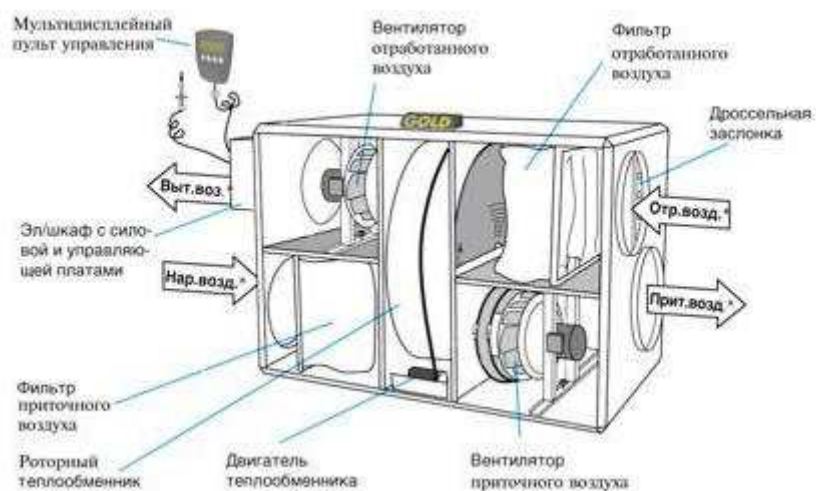


Рисунок 1.7 – Роторный рекуператор

Во втором варианте основу установки составляет алюминиевый барабан, который забирает тепло у выходящего воздуха и отдает его входящему.

Роторный рекуператор обладает более высоким КПД, его энергоэффективность достигает 80%. В отличие от пластинчатого варианта ему не нужно отводить влагу, которая собирается в виде конденсата, в данном варианте необходимое ее количество доставляется на увлажнение нужных помещений, что становится особенно актуальным в сухой зимний период. В комплект обоих вариантов вентиляционных установок входят фильтры воздуха, датчики влажности и отработанных газов плюс пульты управления системой.

На рисунках 1.8-1.9 наглядно показаны максимальное остекление с южной стороны фасада и отсутствие светопрозрачных ограждений на северном фасаде.



Рисунок 1.8 – Пример почти полного остекления с южной стороны (пассивный дом в Киеве, архитектор Т.Эрнст)



Рисунок 1.9 - Пример неостекленного глухого фасада с северной стороны (пассивный дом под Черниговом, архитектор Т.Эрнст)

Также необходимо отметить существование концепции Ноулза об организации небольших помещений вдоль ограждающих стен, которую необходимо широко использовать. Размещение здесь небольших комнат, состоящих из подсобных помещений и кладовых, играет роль «толстой» стены, защищающей здание от суровых климатических условий.

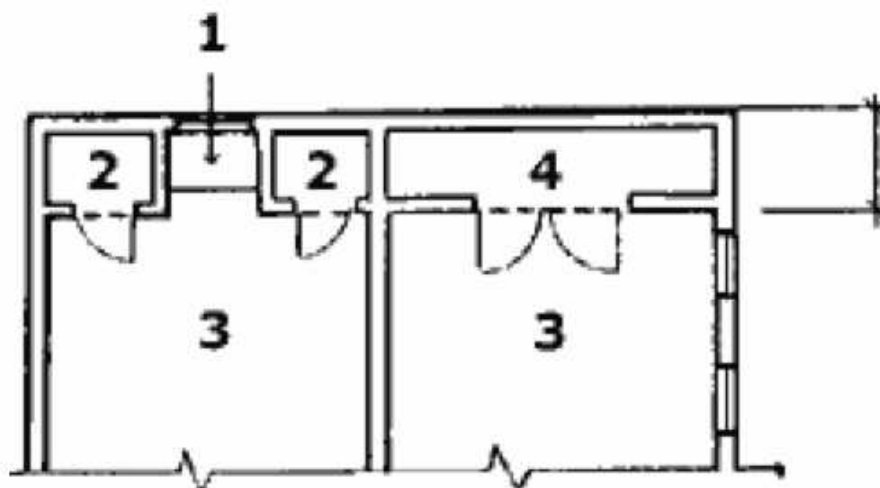


Рисунок 1.10 – «Толстые» стены северных жилищ  
1 - скамья у окна; 2 - туалеты; 3 - жилые комнаты; 4 – кладовая

Аксиомой является использование воздушных завесы и двойных входов. Двойной вход снижает «тепловые потери благодаря инфильтрации и теплопроводности». Образованный небольшим входным пространством с дверными проемами по обеим сторонам входной узел функционирует как



переходная зона между холодным наружным пространством и теплым интерьером.

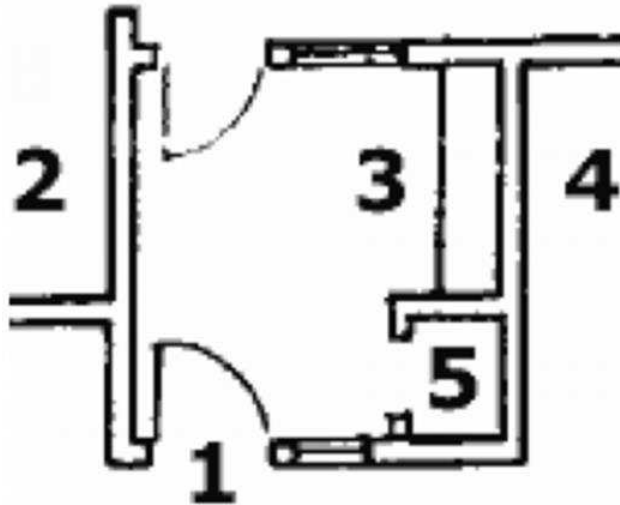


Рисунок 1.11 - Двойной входной узел

1 - вход; 2 - внутреннее пространство; 3 - скамья; 4 - внешнее пространство; 5 - туалет.

#### 1.4.2 Грунтовые теплообменники

Неотъемлемой частью современной системы вентиляции в пассивных домах является грунтовый теплообменник. Теплообменник представляет собой пластиковую трубу, проложенную в грунте на глубине 1,5-2 м. Прежде чем попасть на рекуператор, вентиляционный воздух проходит по трубе и предварительно нагревается.

Существует множество конструкций теплообменников для получения теплоты из грунта и грунтовых вод. Всех их можно классифицировать по трем основным типам:

1. Горизонтальные теплообменники (коллекторы).
2. Вертикальные теплообменники, так называемые «зонды».
3. Теплообменники типа «корзина» и «спираль».



Рисунок 1.12 – Горизонтальный теплообменник

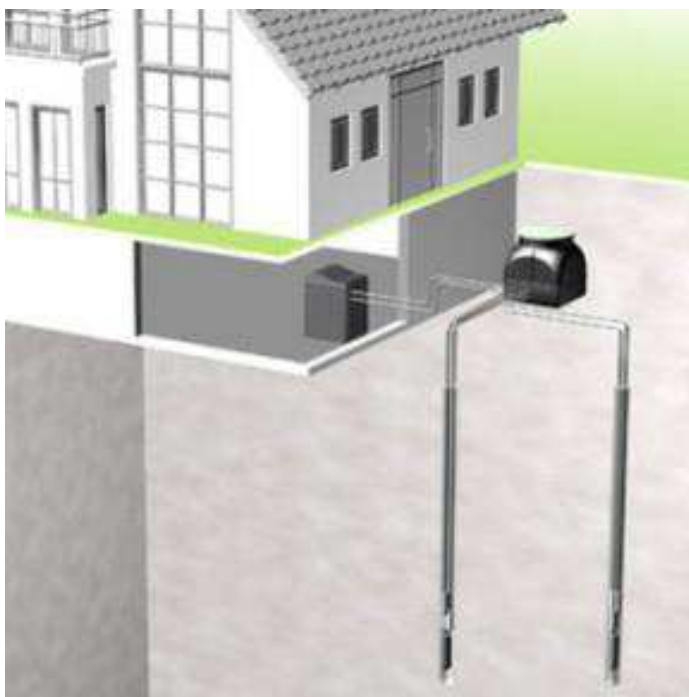


Рисунок 1.13 – Вертикальный теплообменник «зонд»



Рисунок 1.14 – Теплообменник типа «спираль»

Съем тепла с каждого метра грунтового коллектора зависит от множества факторов, таких как: глубина укладки, тип и влажность грунта, затенение площадки под теплообменник и т.д. В среднем значение составляет 20 Вт/м. Для более подробных расчетов следует обратиться к специалистам для детального геологического анализа почвы. Шаг укладки труб не должен быть

меньше 0,7 м для эффективной работы коллектора. Рекомендуется использовать контур общей длиной не более 150 м из-за большого гидравлического сопротивления. При применении нескольких контуров необходимо стараться, что бы каждый из них был примерно одинаковой длины.

Температура грунта глубже 20 метров стабильна на протяжении всего года и равна 8-10 °С, она поддерживается благодаря геотермальной энергии недр Земли. Для получения этой энергии используют вертикальные грунтовые теплообменники, называемые «Зондами», которые погружают в скважины глубиной 20-300м и диаметром 120-200мм. Обычно используют пластиковую трубу диаметром от 32 мм. В скважину помещают одну или две петли зонда и пространство между грунтом и трубой заполняют бентонитом или другим раствором с высокой теплопроводностью.

Также, помимо приведенных видов грунтовых теплообменников, которые являются жидкостными, существует еще воздушный грунтовый теплообменник (рисунок 2.11.), с помощью которого производится прогревание воздуха, забираемого с улицы. Данный вид теплообменника является более популярным в России за счет своей более дешевой стоимости устройства и возможности сделать его самостоятельно.

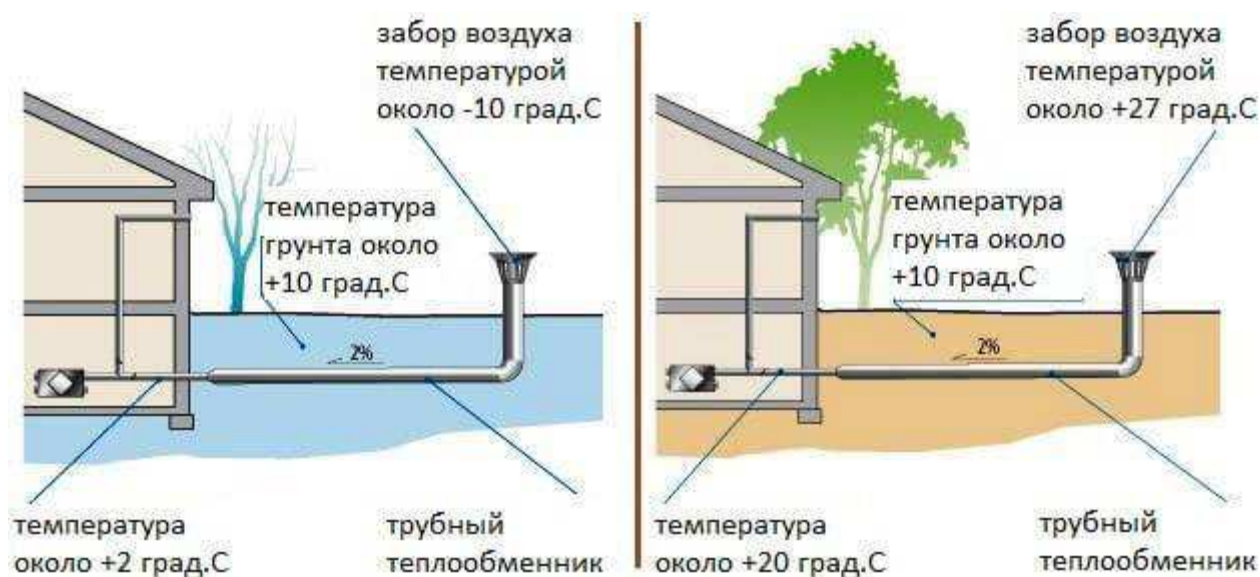


Рисунок 1.15 – Схема работы грунтового воздушного теплообменника

### 1.4.3 Гелиоприемники

Гелиоприемник или гелиотеплогенератор – устройство для преобразования энергии излучения Солнца в тепловую. В случае предварительного концентрирования энергии излучения в гелиоприемнике получают высокую температуру тепловоспринимающей поверхности (до 5000°С); если такой концентрации энергии не проводится, то температура рабочей поверхности гелиоприемника не превышает 200°С.



Схема с концентраторами используется для систем производства электрической энергии и тепловой энергии высокого энергетического потенциала, а схемы без концентраторов – для выработки низкопотенциальной тепловой энергии. Рабочим телом – теплоносителем – в гелиоприемнике могут быть вода, воздух, органические низкокипящие жидкости. Важным условием применения рассматриваемых схем с гелиоприемниками является необходимость обеспечить бесперебойную работу системы независимо от временных и погодных условий. Эта независимость обеспечивается введением в схему емкостей, аккумулирующих тепловую энергию нагретого теплоносителя воды или воздуха во время работы гелиоприемника и отдающих теплоту теплоносителю во время отключения гелиоприемника, в результате чего гасится влияние колебаний мощности светового потока, являющегося источником энергии, во времени.



Рисунок 1.16 – Гелиоприемник

Использование гелиоприемника не нашло популярного пользования на территории России по причине того, что количество солнечных дней в году, за исключением юга, в среднем равняется 80 дням.

#### **1.4.4 Тепловые насосы**

Тепловой насос – это система, с помощью которой можно переносить тепло от менее нагретого тела к более нагретому, увеличивая температуру последнего.

Тепловые насосы являются альтернативными источниками энергии, позволяющими получать дешевое тепло без вреда для окружающей среды.

Принцип работы бытового теплонасоса основан на том факте, что любое тело с температурой выше абсолютного нуля обладает запасом тепловой энергии. Этот запас прямо пропорционален массе и удельной теплоемкости тела. Если в этом контексте обратить внимание, например, на подземные воды, обладающие огромной массой, можно прийти к выводу, что их грандиозные запасы тепловой энергии можно частично использовать для отопления домов без ущерба мировой экологической обстановке. «Взять» тепловую энергию какого-либо тела можно, если охладить его. Грубый расчет выделяемого при этом тепла возможен по формуле:  $Q = C \cdot M \cdot (T_2 - T_1)$ , где  $Q$  – полученное тепло,  $C$  – теплоемкость,  $M$  – масса,  $T_1 - T_2$  – температура, на которую было произведено охлаждение тела. Формула показывает, что при росте массы теплоносителя разница температур может быть небольшой. Например, охлаждая 1 кг теплоносителя от 1000 до 0 о С, можно получить столько же тепла, сколько даст охлаждение 1000 кг от 1 до 0 о С.

По виду передачи энергии тепловые насосы бывают двух типов:

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

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

По источнику тепла выделяют тепловые насосы:

– Геотермальные. Тепловая энергия берется из грунта или воды.

– Воздушные. Тепло извлекается из атмосферы.

– Использующие вторичное тепло. В качестве источника тепла используются воздух, вода, канализационные стоки.

По виду теплоносителя входного/выходного контура:

– Тепловые насосы «воздух-воздух». Этот вид тепловых насосов забирает тепло у более холодного воздуха, еще больше понижая его температуру, и отдает его в отапливаемое помещение.

– Тепловые насосы «вода-вода». Используется тепло грунтовых вод, которое передается воде для отопления и горячего водоснабжения.

– Тепловые насосы «вода-воздух». Используются зонды или скважины для воды и воздушная система отопления.

– Тепловые насосы «воздух-вода». Атмосферное тепло используется для водяного отопления.

– Тепловые насосы «грунт-вода». Трубы прокладываются под землей, и по ним циркулирует вода, забирающая тепло из грунта.

– Тепловые насосы «лед-вода». Для нагревания воды в системе отопления и горячего водоснабжения используется тепловая энергия, которая высвобождается при получении льда. Замораживание 100-200 л воды способно обеспечить обогрев среднего дома в течение часа.

.17

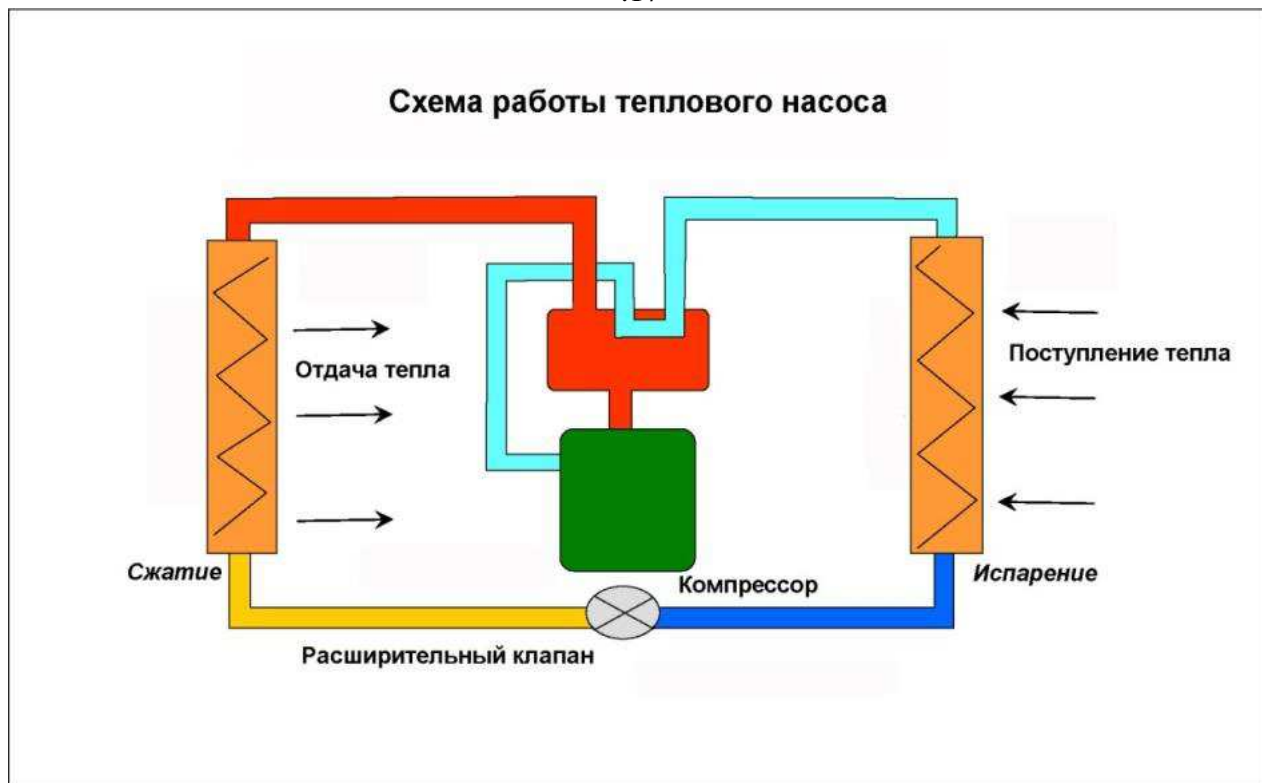


Рисунок 1.17 – Схема работы теплового насоса

Тепловые насосы получили широкое распространение в использовании за счет наличия сразу нескольких вариаций исполнения. В России уже налажено отечественное производство тепловых насосов, в том числе компания "Smaga", что позволяет дополнительно популяризировать использование данного решения, а также снизить стоимость затрат на устройство теплового насоса.

В 2017 году мировой спрос на тепловые насосы «воздух – вода» достиг 2,66 миллиона единиц оборудования. Основными потребителями стали Китай, Япония и страны Европы (68,8, 16,8 и 10,8% общего объема продаж соответственно).

Япония была пионером производства и применения тепловых насосов «воздух – вода» и на сегодняшний день накопила огромный опыт в этой сфере. Помимо создания собственного рынка теплонасосных водонагревателей EcoCute Япония способствовала распространению тепловых насосов в Европе. Можно сказать, японские технологии стали основой нового сегмента мирового рынка и вдохнули новую жизнь в консервативную отрасль отопительного оборудования.

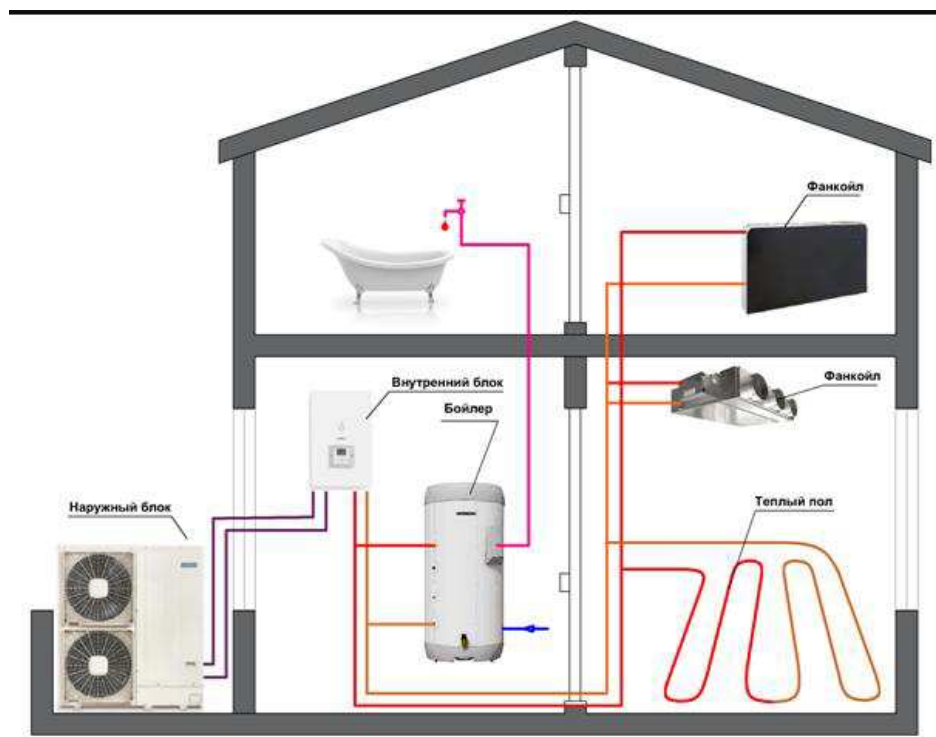


Рисунок 1.18 – Схема работы теплового насоса «воздух-вода»

В последние годы в Китае усилилась роль государства в экологическом регулировании. Национальная программа «Электричество вместо угля» способствовала бурному росту продаж тепловых насосов «воздух – вода» на севере страны. Очевидным доказательством сокращения загрязняющих выбросов в атмосферу стало очищающееся от смога небо Северного Китая.

Некоторые производители предоставляют услуги облачного сервиса для удаленного управления работой и энергопотреблением тепловых насосов «воздух – вода». Подключившись к облачному серверу, пользователь получает полный контроль над устройством из любой точки планеты. Данная технология позволяет сэкономить электроэнергию, повысить уровень комфорта, добиться более гибкого управления ресурсами.

Еще одна разработка – интегрированные системы, объединяющие тепловые насосы и фотоэлектрические панели. Такие системы позволяют более эффективно использовать электроэнергию, вырабатываемую солнечными панелями, управляя энергопотреблением теплового насоса.

В районах с холодным климатом, таких как Северная Европа, где температура наружного воздуха может опускаться до  $-40^{\circ}\text{C}$ , эффективным способом получения горячей воды могут стать гибридные системы, объединяющие газовый котел и тепловой насос «воздух – вода». Уже установленный котел можно использовать для эффективного дополнительного нагрева. Ряд производителей представил на рынке интеллектуальные системы управления, позволяющие подключить тепловой насос к действующей системе отопления и горячего водоснабжения на базе газового котла. Если условия не позволяют использовать тепловой насос, включается газовый котел, обеспечивая непрерывное функционирование системы теплоснабжения.

## 2 Характеристика климатических условий

В настоящее время строительство «пассивных» домов в России только зарождается: происходит поиск оптимальных решений и стыковка этих решений с экономической целесообразностью.

Согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\* (с Изменениями N 1, 2)» Красноярский край делится на 4 климатических подрайона: IV, ID, IA, IB.

Красноярский край можно подразделить на 2 части:

- Южная часть Красноярского края (климатические подрайоны IV, ID);
- Северная часть Красноярского края (климатический подрайон IB, IA).

Согласно табл. Б.1 СП 131.13330.2012 «Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\* (с Изменениями N 1, 2)»:



Рисунок 2.1 – Разделение Красноярского края  
1 - Южная часть; 2 - Северная часть



Таблица 2.1 – Характеристики климатических зон

Климатическая зона	Климатический подрайон	Среднемесячная температура воздуха в январе, °С	Средняя скорость ветра за три зимних месяца, м/с	Среднемесячная температура воздуха в июле, °С	Среднемесячная относительная влажность воздуха в июле, %
1	2	3	4	5	6
Южная часть	ІВ	От -14 до -28	-	От +12 до +21	-
	ІД	От -14 до -32	-	От +10 до +20	-
Северная часть	ІА	От -32 и ниже	-	От +4 до +19	-
	ІБ	От -28 и ниже	5 и более	От 0 до +13	Более 75

Анализируя условия Красноярского края, можно сделать вывод, что в Северной части на данный момент создание пассивного домостроения едва ли представляется возможным за счет наличия вечной мерзлоты (препятствует использованию грунтовых теплообменников), а также крайне суровых погодных условий, из-за которых для соблюдения критериев пассивного дома потребуется устройство очень толстой стены, что экономически нецелесообразно, однако за счет использования определенных систем и тщательного подхода к строительству, можно добиться отличной энергоэффективности относительно остальных домов данного региона.

Однако, в южной части Красноярского края имеется возможность приближения к критериям "пассивного" дома. Для того чтобы достигать этих значений требуется использовать все возможные из изученных решения и также необходимо вносить коррективы в конструктив, в частности узлы примыкания крыши и перекрытий к стенам, оконных и дверных блоков к проемам, сопряжение стен с фундаментами в целях минимизации теплопотерь в наиболее слабых местах дома.

### 3 Подбор энергоэффективного утеплителя

Для дальнейших расчетов удельных характеристик здания будет принята деревянная каркасная система, так как она имеет ряд преимуществ относительно иных систем с точки зрения энергоэффективности. В данной системе основной объем ограждающих конструкций составляет утеплитель.

Для проведения подбора наиболее подходящего утеплителя примем следующую многослойную конструкцию:

- штукатурка из цементно-песчаного раствора М150 толщиной 10 мм;
- лист OSB толщиной 12 мм;
- утеплитель толщиной 200 мм;
- лист OSB толщиной 12 мм.

Характеристики материалов конструкции стенового ограждения сведены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 - Характеристики материалов конструкции стенового ограждения

Материал	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности $\lambda_A$ , Вт/(м·°С)
1	2	3
1. Штукатурка из цементно-песчаного раствора М150	1800	0,93
2. Лист OSB-3	600	0,16
3. Стекловата	85	0,050
Каменная вата	100	0,045
Пенополиуретан	54	0,041
Экструдированный пенополистирол	25	0,031
4. Лист OSB-3	600	0,16

#### Расчет потерь теплоты через участок стенового ограждения.

Все температурные поля рассчитываются для температуры наружного воздуха минус 37°С и температуры внутреннего воздуха 21 °С.

Для плоского элемента условное сопротивление теплопередаче однородной части фрагмента теплозащитной оболочки определяется по формуле:

$$R_{01}^{\text{усл}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_s R_s + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (3.1)$$

где  $\alpha_{\text{в}}$  - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·°С), принимаемый согласно [3, табл. 4];

$\alpha_n$  - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·°C), принимаемый согласно [3, табл. 6];

$R_s$  - термическое сопротивление слоя однородной части фрагмента, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт.

Удельные потери теплоты определяются по формуле:

$$U_1 = 1/R_{01}^{усл}, \quad (3.2)$$

где  $R_{01}^{усл}$  - условное сопротивление теплопередаче однородной части фрагмента теплозащитной оболочки, м<sup>2</sup>·°C/Вт.

Площадь стены, вошедший в расчетный участок  $S_{1,1} = 1$  м<sup>2</sup>. Потери теплоты через участок однородной стены определяется по формуле:

$$Q_{1,1} = ([t_b - t_n]/(R_{01}^{усл})) \cdot S_{1,1}, \quad (3.3)$$

где  $t_b$  - расчетная температура внутреннего воздуха, °C;

$t_n$  - расчетная температура наружного воздуха, °C;

$R_{01}^{усл}$  – то же, что и в формуле (2);

$S_{1,1}$  - площадь однородной части конструкции, вошедшей в расчетную область при расчете температурного поля, м<sup>2</sup>.

Произведем расчет данных показателей для многослойной конструкции с применением каждого из видов утеплителя.

Расчет показателей для многослойной конструкции с применением в качестве утеплителя стекловаты.

Сопротивление теплопередаче определяется по формуле (3.1):

$$R_{01}^{усл} = 1/8,7 + 0,01/0,93 + 0,012/0,16 + 0,2/0,050 + 0,012/0,16 + 1/23 = 4,319 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Удельные потери теплоты определяются по формуле (3.2):

$$U_1 = 1/4,319 = 0,232 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Потери теплоты через участок однородной стены определяются по формуле (3.3):

$$Q_{1,1} = [21 - (-37)]/(4,319 \cdot 1) \cdot 1 = 13,43 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2.$$

Расчет показателей для многослойной конструкции с применением в качестве утеплителя каменной ваты.

Сопротивление теплопередаче определяется по формуле (3.1):

$$R_{01}^{усл} = 1/8,7 + 0,01/0,93 + 0,012/0,16 + 0,2/0,045 + 0,012/0,16 + 1/23 = 4,764 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Удельные потери теплоты определяются по формуле (3.2):

$$U_1 = 1/4,764 = 0,210 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Потери теплоты через участок однородной стены определяются по формуле (3.3):

$$Q_{1,1} = [21 - (-37)]/(4,764*1)*1 = 12,17 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2.$$

Расчет показателей для многослойной конструкции с применением в качестве утеплителя пенополиуретана.

Сопrotивление теплопередаче определяется по формуле (3.1):

$$R_{01}^{\text{учл}} = 1/8,7 + 0,01/0,93 + 0,012/0,16 + 0,2/0,041 + 0,012/0,16 + 1/23 = 5,197 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Удельные потери теплоты определяются по формуле (3.2):

$$U_1 = 1/5,197 = 0,192 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Потери теплоты через участок однородной стены определяются по формуле (3.3):

$$Q_{1,1} = [21 - (-37)]/(5,197*1)*1 = 11,16 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2.$$

Расчет показателей для многослойной конструкции с применением в качестве утеплителя экструдированного пенополистирола.

Сопrotивление теплопередаче определяется по формуле (3.1):

$$R_{01}^{\text{учл}} = 1/8,7 + 0,01/0,93 + 0,012/0,16 + 0,2/0,031 + 0,012/0,16 + 1/23 = 6,771 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Удельные потери теплоты определяются по формуле (3.2):

$$U_1 = 1/6,771 = 0,148 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Потери теплоты через участок однородной стены определяются по формуле (3.3):

$$Q_{1,1} = [21 - (-37)]/(6,771)*1 = 8,57 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2.$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты расчетов теплопотерь

Вид утеплителя	Сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$	Удельные потери теплоты, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	Потери теплоты через однородный участок стены, $\text{Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$
1	2	3	4
Стекловата	4,319	0,232	13,43
Каменная вата	4,764	0,210	12,17
Пенополиуретан	5,197	0,192	11,16
Экструдированный пенополистирол	6,771	0,148	8,57

Тарифы на тепловую энергию ООО УК «Енисей» по состоянию на 01.05.2021 составляют 1 688,81 руб./Гкал.

Таблица 3.3 – Теплопотери и затраты на отопление за расчетный период

Показатель	Ограждение со стекловатой	Ограждение с каменной ватой	Ограждение с пенополиуретаном	Ограждение с экструдированным пенополистиролом
1	2	3	4	5
Теплопотери, $\text{Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$	13,43	12,17	11,16	8,57
Теплопотери, $\text{Гкал} \cdot \text{год} / \text{м}^2$	0,06457438	0,05851247	0,05366294	0,04120378
Затраты на централизованное отопление, $\text{руб} / \text{м}^2$	109,05	98,82	90,63	69,59

## 4 Расчет теплоэнергетических параметров здания

Для проведения анализа эффективности конструктивных и инженерных решений произведем расчет теплоэнергетических параметров здания для условий северной и южной частей Красноярского края в двух вариациях.

Для повышения энергоэффективности будут приняты к рассмотрению следующие решения:

1) увеличение толщины утеплителя с дополнительной обрешеткой для обеих частей Красноярского края;

2) применение системы приточно-вытяжной вентиляции марки «Вентс ВУТ Р 700 ЭГ ЕС» с рекуперацией и КПД = 85% для обеих частей Красноярского края;

3) применение теплового насоса марки «Termex Energy Pro 24» с грунтовым теплообменником типа «зонд», работающего по системе «грунт-вода» для южной части Красноярского края;

4) применение теплового насоса марки «Termex Energy Pro 24» с грунтовым теплообменником горизонтального типа, работающего по системе «воздух-воздух» для северной части Красноярского края.

### 4.1 Общая характеристика здания

Объект представляет собой двухэтажный многоквартирный жилой дом. Высота этажей – 3,0 м.

Площади наружных ограждающих конструкций, отапливаемый объем здания, площадь квартир, жилая площадь, необходимые для расчёта энергетического паспорта, теплотехнические характеристики ограждающих конструкций здания определялись согласно проекту в соответствии с [1].

Отапливаемый объем:  $V_{от} = 428,97 \text{ м}^3$ ;

Сумма площадей этажей здания:  $A_{от} = 145,92 \text{ м}^2$ ;

Площадь жилых помещений:  $A_{ж} = 98,76 \text{ м}^2$ ;

Расчетное количество жителей:  $m_{ж} = 5 \text{ чел.}$ ;

Общая площадь наружных ограждающих конструкций:  $A_{н}^{сум} = 442,02 \text{ м}^2$ ;

из них фасадов здания:  $A_{фас} = 263,20 \text{ м}^2$ ;

в том числе:

площадь стен жилой части здания:  $240,70 \text{ м}^2$ ;

площадь чердачного перекрытия:  $88,36 \text{ м}^2$ ;

площадь перекрытия над поверхностью земли:  $88,36 \text{ м}^2$ ;

Общая площадь остекления  $A_{ок} = 22,50 \text{ м}^2$ .

Площадь входных дверей:  $A_{дв1} = 2,1 \text{ м}^2$ .

Площадь надземного остекления по сторонам света сведена в таблицу 1.1:

Таблица 4.1 – Площадь надземного остекления по сторонам света

Наименование	Площадь остекления, м <sup>2</sup> , ориентированных по сторонам света			
	С	В	Ю	З
Окна жилой части	-	6,75	9,00	6,75

## 4.2 Расчет теплоэнергетических параметров здания с применением энергоэффективных инженерных и конструктивных решений для условий южной части Красноярского края

### 4.2.1 Климатические показатели

Район строительства – южная часть Красноярского края;  
 Расчетная температура наружного воздуха  $t_n = -37$  °С [2];  
 Расчетная температура внутреннего воздуха жилой части  $t_{в.жил} = 21$  °С [3];  
 Продолжительность отопительного периода  $z_{от} = 235$  сут. [2];  
 Средняя суточная температура отопительного периода  $t_{от} = -6,5$  °С [2];  
 Расчетная относительная влажность внутреннего воздуха  $\phi_v = 55$  % [1].  
 Условие эксплуатации наружных ограждающих конструкций «А» [1].  
 Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) для ограждающих конструкций жилых квартир найдем по формуле:

$$D_d = (t_{в.жил} - t_{от}) \cdot z_{от}, \quad (4.1)$$

где  $t_{в.жил}$  - расчетная температура внутреннего воздуха жилой части, °С;  
 $t_{от}$  - средняя суточная температура отопительного периода, °С;  
 $z_{от}$  - продолжительность отопительного периода, сут.  
 Подставим значения в формулу и получим:

$$D_d = (21 + 6,5) \cdot 235 = 6462,5 \text{ °С} \cdot \text{сут.}$$

Определим базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций по [1, табл. 3]:

- для наружных найдем по формуле:

$$R_{тр.ст.1} = a \cdot D_d + b, \quad (4.2)$$

где  $a$ ,  $b$  – коэффициенты, которые следует принимать по данным [1, табл. 3];  
 $D_d$  – градусо-сутки отопительного периода (ГСОП), °С·сут.  
 Подставим значения в формулу и получим:

$$R_{тр.ст.1} = 0,00035 \cdot 6462,5 + 1,4 = 3,66 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт};$$

- для окон найдем по формуле (1.3):

$$R_{\text{ок.1}}^{\text{тр}} = 0,00005 \cdot 6462,5 + 0,3 = 0,62 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

- для входных дверей найдем по формуле:

$$R_{\text{дв.1}}^{\text{тр}} = 0,6 \cdot (t_{\text{в.жил}} - t_{\text{н}}) / (\Delta t^{\text{н}} \alpha_{\text{в}}), \quad (4.3)$$

где  $t_{\text{в.жил}}$  – то же, что и в (4.1);

$t_{\text{н}}$  – расчетная температура наружного воздуха, °С;

$\Delta t^{\text{н}}$  – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по [1, табл. 5], °С;

$\alpha_{\text{в}}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по [1, табл. 4], Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Подставим значения в формулу и получим:

$$R_{\text{дв.1}}^{\text{тр}} = 0,6 \cdot (21 - (-37)) / (4,0 \cdot 8,7) = 1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

- для чердачного перекрытия (неотапливаемый вентилируемый чердак) найдем по формуле (4.2):

$$R_{\text{кр.2}}^{\text{тр}} = 0,0005 \cdot 6462,5 + 2,2 = 5,43 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

- перекрытие первого этажа найдем по формуле (4.2):

$$R_{\text{цок.1}}^{\text{тр}} = 0,00045 \cdot 6462,5 + 1,9 = 4,81 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Нормируемые температурные перепады  $\Delta t^{\text{н}}$  между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций:

- стен жилой части дома – 4 °С [1];
- перекрытий чердачных – 3 °С [1].

#### 4.2.2 Описание ограждающих конструкций здания

##### Наружные стены:

Стеновое ограждение – многослойная конструкция: внутренний слой – гипсокартонный лист Knauf толщиной 12,5 мм, пароизоляция, стойки деревянного каркаса сечением 50x200 мм с утеплителем – экструдированный пенополистирол Thermit толщиной 200 мм, обрешетка с дополнительным утеплителем из экструдированного пенополистирола Thermit толщиной 200 мм, ветровлагозащита, сайдинг;

Перекрытие чердачное: внутренний слой – гипсокартонный лист Knauf толщиной 12,5 мм, пароизоляция, лаги из доски камерной сушки сечением 50x250 мм, утеплитель – экструдированный пенополистирол Thermit толщиной



250 мм, обрешетка с дополнительным утеплителем из экструдированного пенополистирола Thermit толщиной 100 мм, ветровлагозащита,

Перекрытие первого этажа: внутренний слой – плита OSB-3 толщиной 22 мм, пароизоляция, лаги из доски камерной сушки сечением 50x250 мм, утеплитель Thermit толщиной 250 мм, бруски с дополнительным утеплителем из экструдированного пенополистирола толщиной 100 мм, ветровлагозащита,

Светопрозрачные конструкции: блоки оконные и по ГОСТ из пятикамерного поливинилхлоридного профиля с заполнением двухкамерным стеклопакетом состоящего из трех листовых стекол толщиной 4 мм марки М1, с мягким низкоэмиссионным покрытием на внутреннем стекле, с расстоянием между стеклами 14 мм, заполнение: наружная камера и внутренняя камера - воздух.

#### 4.2.3 Теплотехнический расчет ограждающих конструкций

##### Теплотехнический расчет стенового ограждения

Данная конструкция ограничивает отапливаемый объем жилой части здания, и представляет собой многослойную конструкция: внутренний слой – гипсокартон Кнауф толщиной 12,5 мм, каркас деревянный из доски камерной сушки сечением 50x200 мм с эффективным утеплителем – плиты из экструдированного пенополистирола Thermit толщиной 200 мм, обрешетка с эффективным утеплителем – плиты из экструдированного пенополистирола Thermit толщиной 200 мм, ветровлагозащита, сайдинг с вентиляционным зазором.

Стеновое ограждение опирается перекрытие из доски камерной сушки толщиной 250 мм. Схема стенового ограждения представлены на рис. 2.1.

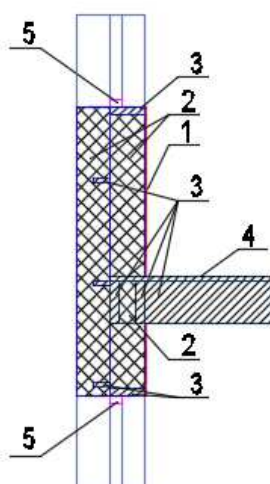


Рисунок 4.1 – Стена

Характеристики материалов конструкции стенового ограждения сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 - Характеристики материалов конструкции стенового ограждения

Материал	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности $\lambda_A$ , Вт/(м·°С)
1. Гипсокартонный лист Knauf	800	0,21
2. Экструдированный пенополистирол Thermit	25	0,031
3. Доска из сосны камерной сушки	500	0,18
4. Плита OSB-3	600	0,16
5. Светопрозрачное ограждение $R = 0,66 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	-	0,163

Элементы, составляющие ограждающую конструкцию

а) стеновое ограждение, состоящее из следующих материалов: ГКЛ Knauf (12,5 мм), доска из сосны камерной сушки (200, 100 мм), экструдированный пенополистирол Thermit (400 мм) – плоский элемент;

б) оконный откос – линейный элемент 1;

в) плита перекрытия с утеплителем – линейный элемент 2.

Геометрические характеристики проекций элементов

Фасад здания, включая световые проемы, имеет площадь 263,20 м<sup>2</sup>.

Суммарная площадь световых проемов, расположенных на данном фасаде составляет 22,50 м<sup>2</sup>.

Площадь поверхности фрагмента ограждающей конструкции для расчета приведенного сопротивления теплопередаче  $R_{0\text{пр}}$  рассчитывается по формуле:

$$A_{\text{ст}} = A_{\text{ф}} - A_{\text{ок}}, \quad (4.4)$$

где  $A_{\text{ф}}$  – площадь фасада здания, м<sup>2</sup>;

$A_{\text{ок}}$  – суммарная площадь световых проемов на данном фасаде, м<sup>2</sup>.

Подставим значения в формулу и получим:

$$A_{\text{ст}} = 263,20 - 22,50 = 240,70 \text{ м}^2.$$

Доля плоского элемента от общей площади конструкции составляет:

$$a = 240,70/240,70 = 1;$$

Общая длина проекции оконных откосов составляет:  $L_1 = 60,00$  м. Длина проекции этих ребер, приходящихся на 1 м<sup>2</sup> площади фрагмента равна:

$$L_1 = 60,00/240,70 = 0,2493 \text{ м}^{-1};$$

Общая длина перекрытия составляет:  $L_2 = 36,00$  м. Длина проекции перекрытия, приходящихся на 1 м<sup>2</sup> площади фрагмента равна:

$$L_2 = 36,00/240,70 = 0,1496 \text{ м}^{-1}.$$

#### Расчет удельных потерь теплоты, обусловленных элементами

Все температурные поля рассчитываются для температуры наружного воздуха минус 37°C и температуры внутреннего воздуха 21 °С.

Потери теплоты через однородный участок стены, по результатам расчета температурного поля равны  $Q_{1,1} = 5,21$  Вт/м. Температурное поле представлено на рис. 4.3.

Для плоского элемента 1 сопротивление теплопередаче теплозащитной оболочки составляет:

$$R_{01}^{\text{усл}} = [21 - (-37)]/5,21 = 11,13 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Удельные потери теплоты определяются по формуле:

$$U_1 = 1/R_{01}^{\text{усл}}, \quad (4.5)$$

где  $R_{01}^{\text{усл}}$  - условное сопротивление теплопередаче однородной части фрагмента теплозащитной оболочки,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Подставим значения в формулу и получим:

$$U_1 = 1/11,13 = 0,090 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Для линейного элемента 1 рассчитывается температурное поле узла конструкции, содержащего элемент. Температурное поле представлено на рис. 4.3.

Площадь стены, вошедший в расчетный участок  $S_{1,1} = 1 \text{ м}^2$ . Потери теплоты через стену с оконным откосом, вошедшую в участок, по результатам расчета температурного поля равны  $Q_1^L = 6,18$  Вт/м.

Дополнительные потери теплоты через линейный элемент 1 определяются по формуле:

$$\Delta Q_1^L = Q_1^L - Q_{1,1}, \quad (4.6)$$

где  $Q_1^L$  – потери теплоты через стену с оконным откосом, Вт/м;

$Q_{1,1}$  – потери теплоты через однородный участок стены, Вт/м.

Подставим значения в формулу и получим:

$$\Delta Q_1^L = 6,18 - 5,21 = 0,97 \text{ Вт}/\text{м}.$$

Удельные линейные потери теплоты через линейный элемент 1 определяются по формуле:

$$\Psi_1 = \Delta Q_1^L / (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), \quad (4.7)$$

где  $\Delta Q_1^L$  – дополнительные потери теплоты через линейный элемент, Вт/м;

$t_b$  – то же, что и в (4.1);

$t_n$  – то же, что и в (4.3).

Подставим значения в формулу и получим:

$$\Psi_1 = 0,97 / [(21 - (-37))] = 0,017 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}).$$

Для линейного элемента 2 рассчитывается температурное поле узла конструкции, содержащего элемент. Температурное поле представлено на рис. 4.3.

Площадь однородной стены, вошедший в расчетный участок  $S_{1,1} = 0,628 \text{ м}^2$ . Потери теплоты через стену с оконным откосом, вошедшую в участок, по результатам расчета температурного поля равны  $Q_2^L = 5,81 \text{ Вт}/\text{м}$ .

Дополнительные потери теплоты через линейный элемент 1 по формуле (4.6) составляют:

$$\Delta Q_2^L = 5,81 - 3,27 = 2,54 \text{ Вт}/\text{м}.$$

Удельные линейные потери теплоты через линейный элемент 1 определяются по формуле (4.7):

$$\Psi_1 = 2,54 / [(21 - (-37))] = 0,044 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}).$$

Расчеты удельных характеристик сведены в таблицу 4.2. Температурные поля элементов представлены на рисунке 4.3.

Таблица 4.2 – Удельные характеристики элементов

Элемент фрагмента	Потери теплоты через однородный участок стены	Потери теплоты через неоднородный участок	Удельные потери теплоты	Удельный геометрический показатель
Линейный элемент 1 (рис. 2.3.б)	$Q_{1,1} = 5,21 \text{ Вт}/\text{м}$	$Q_1^L = 6,18 \text{ Вт}/\text{м}$	$\Psi_1 = 0,017 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$	$l_1 = 0,2493 \text{ м}^{-1}$
Линейный элемент 2 (рис. 2.3.в)	$Q_{2,1} = 3,27 \text{ Вт}/\text{м}$	$Q_2^L = 5,81 \text{ Вт}/\text{м}$	$\Psi_2 = 0,044 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$	$l_2 = 0,1496 \text{ м}^{-1}$

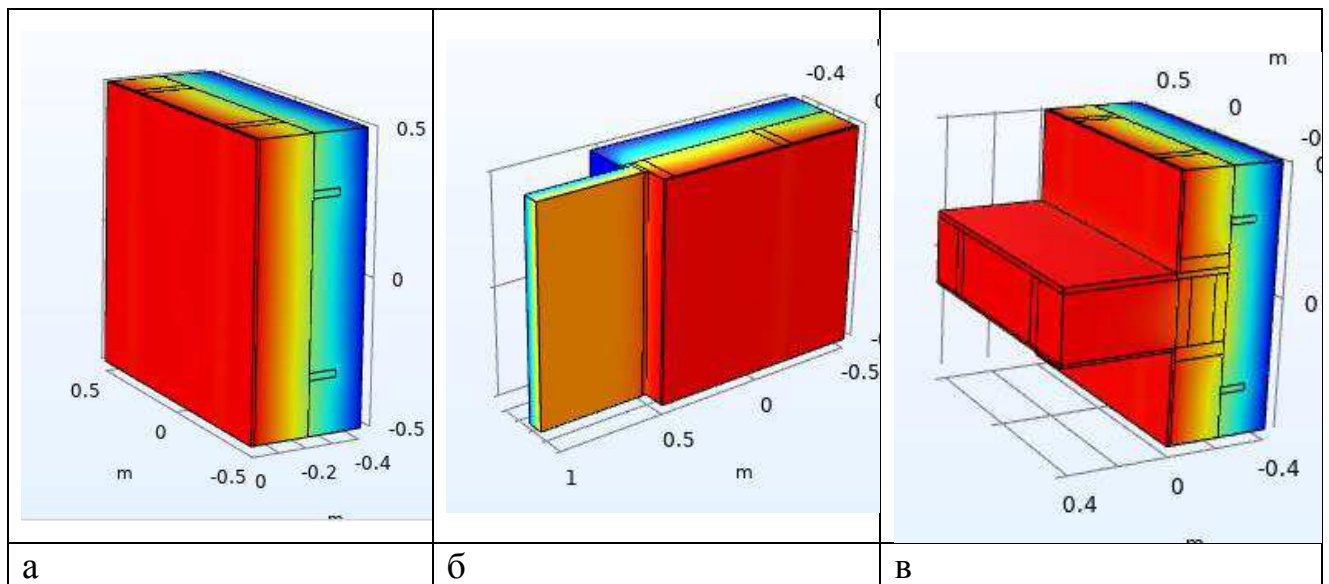


Рисунок 4.2 - Распределение изотерм

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче стены.  
Данные сведены в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Удельные показатели элементов

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a_1 = 1,000$	$U_1 = 0,090$ Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	$U_1 a_1 = 0,090$ Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	89,29
Линейный элемент 1	$l_1 = 0,2493$ м <sup>-1</sup>	$\Psi_1 = 0,017$ Вт/(м·°С)	$\Psi_1 l_1 = 0,0042$ Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	4,17
Линейный элемент 2	$l_2 = 0,1496$ м <sup>-1</sup>	$\Psi_2 = 0,044$ Вт/(м·°С)	$\Psi_2 l_2 = 0,0066$ Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	6,54
Итого			$1/R_o^{пр} = 0,1008$ Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	100

Приведенное сопротивление теплопередаче стены рассчитывается по формуле:

$$R^{пр}_{ст} = 1/(\sum U_j a_j + \sum \Psi_j l_j), \quad (4.8)$$

где  $U_j$  – коэффициент теплопередачи однородной  $j$ -той части фрагмента теплозащитной оболочки здания (удельные потери теплоты через плоский элемент  $j$ -го вида), Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$a_j$  – площадь плоского элемента конструкции  $j$ -го вида, приходящаяся на 1 м<sup>2</sup> фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;

$\Psi_j$  – удельные потери теплоты через линейную неоднородность  $у$ -го вида, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$l_j$  - протяженность линейной неоднородности  $j$ -го вида, приходящаяся на  $1 \text{ м}^2$  фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции,  $\text{м}/\text{м}^2$ .

Подставим значения в формулу и получим:

$$R_{\text{ст}}^{\text{пр}} = 1/0,1008 = 9,92 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Коэффициент теплотехнической однородности рассчитывается по формуле:

$$r_{\text{ст}} = R_{\text{ст}}^{\text{пр}} / R_{\text{ст}}^{\text{усл}}, \quad (4.9)$$

где  $R_{\text{ст}}^{\text{пр}}$  – приведенное сопротивление теплопередаче стены,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  
 $R_{\text{ст}}^{\text{усл}}$  - сопротивление теплопередаче теплозащитной оболочки,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .  
Подставим значения в формулу и получим:

$$r_{\text{ст}} = 9,92/11,13 = 0,89.$$

Полученное значение  $R_{\text{ст}}^{\text{пр}} = 9,92 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  выше базового значения требуемого сопротивления теплопередаче  $R_{\text{ст}}^{\text{пр}} = 3,66 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции составляет:  
- для жилых помещений:

$$\Delta t_0 = (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})/(R_{\text{ст.1}}^{\text{пр}} \cdot \alpha_{\text{в}}) = (21 + 37)/(9,92 \cdot 8,7) = 0,68 \text{ °C} < \Delta t_{\text{н}} = 4,0 \text{ °C}.$$

Рассмотренная конструкция соответствует требованиям [1].

Приведенное сопротивление теплопередаче составляет:  $R_{\text{ст}}^{\text{пр}} = 9,92 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Площадь данной ограждающей конструкции составляет:

- по основной части здания:  $A_{\text{ст}} = 240,70 \text{ м}^2$ .

### Теплотехнический расчет чердачного перекрытия

Данное покрытие ограничивает отапливаемый объем здания.

Характеристики материалов конструкции:

1. Лист ГКЛ Knauf  $\rho = 800 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $\lambda_{\text{А}} = 0,21 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ;  $\delta = 0,0125 \text{ м}$ ;
2. Пароизоляция (в расчете не учтена);
3. Утеплитель – экструдированный пенополистирол Thermit  $\rho = 25 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $\lambda_{\text{А}} = 0,031 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ,  $\delta = 0,35 \text{ м}$ ;
4. Гидро- и влагозащита (в расчете не учтена);

Сопrotивление теплопередаче данной ограждающей конструкции с учетом неотапливаемого пространства техподполья по формуле:

$$R_{o1}^{ycl} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_S R_S + \frac{1}{\alpha_H}, \quad (4.10)$$

где  $\alpha_B$  - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·°C), принимаемый согласно [1, табл. 4];

$\alpha_H$  - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·°C), принимаемый согласно [1, табл. 6];

$R_S$  - термическое сопротивление слоя однородной части фрагмента, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт.

Подставим значения в формулу и получим:

$$R_o = 1/8,7 + 0,0125/0,21 + 0,35/0,031 + 1/12 = 11,55 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Полученное значение сопротивления теплопередаче  $R_{o,пер} = 11,55 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , больше нормируемого  $R^{тр}_{пер} = 5,43 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции составляет:

$$\Delta t_o = (t_B - t_H)/(R_{o, кр.2} \cdot \alpha_B) = (21 + 37)/(11,55 \cdot 8,7) = 0,58 \text{ °C} < t_H = 3,0 \text{ °C}.$$

Рассмотренная конструкция соответствует требованиям [1].

Сопrotивление теплопередаче составляет:  $R_{o, кр.2} = 11,55 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Площадь данной ограждающей конструкции составляет:  $A_{кр.2} = 88,36 \text{ м}^2$ .

#### Теплотехнический расчет перекрытия первого этажа

Данная конструкция ограничивает отапливаемый объем здания.

Характеристики материалов конструкции:

1. Плита OSB-3  $\rho = 600 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $\lambda_A = 0,16 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ;  $\delta = 0,022 \text{ м}$ ;
2. Пароизоляция (в расчете не учтена);
3. Утеплитель – экструдированный пенополистирол Thermit  $\rho = 25 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $\lambda_A = 0,031 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ,  $\delta = 0,35 \text{ м}$ ;
4. Гидро- и влагозащита (в расчете не учтена);

Сопrotивление теплопередаче данной ограждающей конструкции с учетом неотапливаемого пространства техподполья по формуле (4.10):

$$R_o = 1/8,7 + 0,022/0,16 + 0,35/0,031 + 1/12 = 11,63 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Полученное значение сопротивления теплопередаче  $R_{o,пер} = 11,63 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , больше нормируемого  $R^{тр}_{пер} = 4,81 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции составляет:

$$\Delta t_o = (t_{в} - t_{н}) / (R_{o, цок} \cdot \alpha_{в}) = (21 + 37) / (11,63 \cdot 8,7) = 0,57 \text{ }^{\circ}\text{C} < \Delta t_{н} = 2,0 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Сопrotивление теплопередаче составляет:  $R_{o, цок} = 11,63 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$ .

Площадь данной ограждающей конструкции:  $A_{цок} = 88,36 \text{ м}^2$ .

### Светопрозрачные конструкции

Окна выполнены по ГОСТ 30674-99 блоками из поливинилхлоридных профилей с заполнением двухкамерным стеклопакетом состоящего из трех листовых стекол толщиной 4 мм марки М1, с мягким низкоэмиссионным покрытием на внутреннем стекле, с расстоянием между стеклами 14 мм по ГОСТ 24866-99, имеющие приведенное сопротивление теплопередаче  $R_{ок}^{пр} = 0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$ .

Площадь данной ограждающей конструкции:  $A_{ок} = 22,5 \text{ м}^2$ .

### Входные двери

В проекте заложена стальная входная дверь коробчатого сечения для входа в жилой дом, имеющую приведенное сопротивление теплопередаче не менее  $1,07 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$  (ГОСТ 31173-2003).

Площадь данной ограждающей конструкции:  $A_{дв} = 2,1 \text{ м}^2$ .

## **4.2.4 Расчет удельных характеристик здания**

### Удельная теплозащитная характеристика здания

Удельная теплозащитная характеристика здания рассчитывается по формуле:

$$k_{об} = 1/V_{от} \cdot (\sum(n_{t,j} \cdot A_{ф,i} / R_{о,i}^{пр}) + \sum n_{t,j} \Psi_j l_j), \quad (4.11)$$

где  $R_{о,i}^{пр}$  – то же, что и в формуле (4.9);

$A_{ф,i}$  - то же, что и в формуле (4.4);

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

$\Psi_j$  - то же, что и в формуле (4.8);

$l_j$  - то же, что и в формуле (4.4);

$V_{от}$  - отапливаемый объем здания,  $\text{м}^3$ .

Подставим значения в формулу и получим:



$$k_{об} = 1/428,97 \cdot [240,70/9,92 + 22,5/0,75 + 2,1/1,07 + 88,36/11,55 + 88,36/11,63] = 0,167 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}).$$

Детали расчета сведены в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Расчет удельной теплозащитной характеристики здания

Наименование фрагмента	$n_{t,i}$	$A_{ф,i}, \text{ м}^2$	$R_{o,i}^{пп}$ $\text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	$n_{t,i} \cdot A_{ф,i} / R_{o,i}^{пп}$ $\text{ Вт}/\text{°C}$	%
Стеновое ограждение ТИП 1	1	240,70	9,92	24,26	33,94
Чердачное перекрытие	1	88,36	11,55	7,65	10,70
Перекрытие над техподпольем	1	88,36	11,63	7,60	10,64
Окна	1	22,5	0,75	30	41,98
Входные двери	1	2,1	1,07	1,96	2,74
Сумма		442,02		71,47	100

Нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания определяется по формуле:

$$k_{об}^{тп} = (4,74/(0,00013 \cdot \text{ГСОП} + 0,61)) \cdot (1/(V_{от})^{1/3}), \quad (4.12)$$

где ГСОП – то же, что и в формуле (4.2);

$V_{от}$  - отапливаемый объем здания,  $\text{ м}^3$ .

Подставим значения в формулу и получим:

$$k_{об}^{тп} = (4,74/(0,00013 \cdot 6462,5 + 0,61)) \cdot (1/(428,97)^{1/3}) = 0,433 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}).$$

Удельная теплозащитная характеристика меньше нормируемой величины, следовательно, оболочка удовлетворяет нормативным требованиям.

Приведенный трансмиссионный коэффициент:

$$K_{общ} = k_{об} / K_{комп} = 0,167 / 1,030 = 0,162.$$

#### Удельная вентиляционная характеристика здания

Средняя плотность приточного воздуха за отопительный период рассчитывается по формуле:

$$p_v^{вент} = 353 / (273 + t_{от}), \quad (4.13)$$

где  $t_{от}$  - то же, что и в (4.1).

Подставим значения в формулу и получим:

$$p_v^{вент} = 353 / (273 - 6,5) = 1,326.$$

Удельная теплоемкость воздуха  $c = 1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{°C}).$

Число часов учета инфильтрации в течение недели  $n_{\text{инф}} = 168$  ч.

Число часов работы механической вентиляции в течение недели  $n_{\text{вент}} = 168$  ч.

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

Коэффициент эффективности рекуператора  $k_{\text{эф}} = 0,85$ .

Удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха определяется по формуле:

$$k_{\text{об}}^{\text{TP}} = 3463 / (273 + t), \quad (4.14)$$

где  $t$  – температура внутреннего и наружного воздуха, °С.

Подставим значения в формулу и получим:

$$\gamma_{\text{н}} = 3463 / (273 - 37) = 14,67 \text{ Н/м}^3;$$

$$\gamma_{\text{в}} = 3463 / (273 + 21) = 11,78 \text{ Н/м}^3.$$

Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций определяется по формуле:

$$\Delta p_{\text{ок}} = 0,28 \cdot H \cdot (\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}}) + 0,03 \cdot \gamma_{\text{н}} \cdot v^2, \quad (4.15)$$

$$\Delta p_{\text{дв}} = 0,55 \cdot H \cdot (\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}}) + 0,03 \cdot \gamma_{\text{н}} \cdot v^2, \quad (4.16)$$

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

$\gamma_{\text{н}}, \gamma_{\text{в}}$  - удельный вес наружного и внутреннего воздуха, Н/м<sup>3</sup>;

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

Подставим значения в формулу и получим:

$$\Delta p_{\text{ок}} = 0,28 \cdot 6,30 \cdot (14,67 - 11,78) + 0,03 \cdot 14,67 \cdot 4,1^2 = 12,50 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{\text{дв}} = 0,55 \cdot 6,30 \cdot (14,67 - 11,78) + 0,03 \cdot 14,67 \cdot 4,1^2 = 17,41 \text{ Па}.$$

Требуемое сопротивление воздухопроницанию окон и входных наружных дверей определяются по формулам:

$$R_{\text{и,ок}}^{\text{TP}} = \Delta p_{\text{ок}} / G_{\text{н}}, \quad (4.17)$$

$$R_{\text{и,дв}}^{\text{TP}} = \Delta p_{\text{дв}} / G_{\text{н}}, \quad (4.18)$$

где  $\Delta p_{дв}$ ,  $\Delta p_{ок}$  – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па;

$G_n$  – нормируемая поперечная воздухопроницаемость ограждающих конструкций, принимаемая в соответствии с [1, (7.1)], кг/(м<sup>2</sup> ч).

Подставим значения в формулу и получим:

$$R_{и,ок}^{тр} = 12,50 / 5 = 2,50 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{кг};$$

$$R_{и,дв}^{тр} = 17,41 / 7 = 2,49 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{кг}.$$

Количество инфильтрующегося воздуха, поступающего через неплотности заполнения проемов, полагая, что все они находятся на наветренной стороне определяется по формуле:

$$G_{инф} = (A_{ок}/R_{и,ок}^{тр}) \cdot (\Delta p_{ок}/10)^{2/3} + (A_{дв}/R_{и,дв}^{тр}) \cdot (\Delta p_{дв}/10)^{1/2}, \quad (4.19)$$

где  $A_{ок}$  – то же, что и в формуле (4.4);

$A_{дв}$  – площадь входной наружной двери, м<sup>2</sup>;

$R_{и,ок}^{тр}$ ,  $R_{и,дв}^{тр}$  – требуемое сопротивление воздухопроницанию окон и входных наружных дверей, м<sup>2</sup>·ч·Па/кг;

$\Delta p_{дв}$ ,  $\Delta p_{ок}$  – то же, что и в формуле (4.18).

Подставим значения в формулу и получим:

$$G_{инф} = (22,50/2,50) \cdot (12,50/10)^{2/3} + (2,1/2,49) \cdot (17,41/10)^{1/2} = 11,56 \text{ кг}/\text{ч};$$

Количество приточного воздуха в здание при неорганизованном притоке либо нормируемое значение при механической вентиляции  $L_{вент} = 0,35 \cdot h_{эт} \cdot A_{ж} = 0,35 \cdot 2,9 \cdot 98,76 = 100,24 \text{ м}^3/\text{ч} < 30 \cdot m = 30 \cdot 5 = 150 \text{ м}^3/\text{ч}$ , в таком случае принимаем  $L_{вент} = 150 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период рассчитывается по суммарному воздухообмену за счет вентиляции и инфильтрации по формуле:

$$n_v = [(L_{вент} \cdot n_{вент})/168 + (G_{инф} \cdot n_{инф})/(168 \cdot \rho_v^{вент})]/(\beta_v \cdot V_{от}), \quad (4.20)$$

где  $L_{вент}$  – количество приточного воздуха в здание, м<sup>3</sup>/ч;

$n_{вент}$  – число часов работы механической вентиляции в течение недели, ч;

$G_{инф}$  – количество инфильтрующегося воздуха, поступающего через неплотности заполнения проемов, кг/ч;

$\rho_v^{вент}$  – средняя плотность приточного воздуха за отопительный период;

$\beta_v$  – коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций. При отсутствии данных принимать = 0,85;

$V_{от}$  - то же, что и в формуле (4.12).

Подставим значения в формулу и получим:

$$n_B = [(150 \cdot 168)/168 + (11,56 \cdot 168)/(168 \cdot 1,326)] / (0,85 \cdot 428,97) = 0,435 \text{ ч}^{-1}.$$

Удельная вентиляционная характеристика здания рассчитывается по формуле:

$$k_{вент} = 0,28 \cdot c \cdot n_B \cdot \beta_v \cdot p_B^{вент} \cdot (1 - k_{эф}), \quad (4.21)$$

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

$n_B$  – средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, ч<sup>-1</sup>;

$G_{инф}$  - количество инфильтрующегося воздуха, поступающего через неплотности заполнений проемов, кг/ч;

$p_B^{вент}$  – то же, что и в формуле (4.20);

$\beta_v$  - то же, что и в формуле (4.20);

$k_{эф}$  - коэффициент эффективности рекуператора.

Подставим значения в формулу и получим:

$$k_{вент} = 0,28 \cdot 1 \cdot 0,435 \cdot 0,85 \cdot 1,326 \cdot (1 - 0,85) = 0,020 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°С}).$$

#### Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания

Величина бытовых тепловыделений на 1 м<sup>2</sup> площади жилых помещений определяется интерполяцией в соответствии с [1, Г.5]:

$$q_{быт} = 17 + (10-17) / (45-20) \cdot (29,2-20) = 14,42 \text{ Вт}/\text{м}^2,$$

здесь 29,2 м<sup>2</sup> на человека – расчетная заселенность объекта.

Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания рассчитывается по формуле:

$$K_{быт} = q_{быт} A_{ж} / (V_{от} \cdot (t_B - t_{от})), \quad (4.22)$$

где  $q_{быт}$  – величина бытовых тепловыделений на 1 м<sup>2</sup> площади жилых, Вт/м<sup>2</sup>;

$A_{ж}$  – площадь жилых помещений, м<sup>2</sup>;

$V_{от}$  - то же, что и в формуле (4.12);

$t_B$  – то же, что и в (4.1);

$t_{от}$  – то же, что и в (4.1).

Подставим значения в формулу и получим:

$$K_{быт} = 14,42 \cdot 98,76 / (428,97 \cdot (21 + 6,7)) = 0,120 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°С}).$$

Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации

Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации рассчитывается по формуле:

$$k_{\text{рад}} = 11,6 \cdot Q_{\text{рад}}^{\text{год}} / (V_{\text{от}} \cdot \text{ГСОП}), \quad (4.23)$$

где  $Q_{\text{рад}}^{\text{год}} = \tau_F \cdot k_F (A_{F1}I_1 + A_{F2}I_2 + A_{F3}I_3 + A_{F4}I_4) + \tau_{\text{scy}} k_{\text{scy}} A_{\text{scy}} I_{\text{hor}} = 0,8 \cdot 0,68 \cdot (0 \cdot 860 + 6,75 \cdot 1200 + 9,00 \cdot 1808 + 6,75 \cdot 1200) + 0 = 17\,664,77$  МДж;

$V_{\text{от}}$  - то же, что и в формуле (4.12);

ГСОП - то же, что и в формуле (4.2).

$$k_{\text{рад}} = 11,6 \cdot 17664,77 / (428,97 \cdot 6462,5) = 0,074 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}).$$

Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период

Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период рассчитывается по формуле:

$$q_{\text{от}}^p = ((k_{\text{об}} + k_{\text{вент}} - (k_{\text{быт}} + k_{\text{рад}}) \cdot \nu \cdot \zeta) \cdot (1 - \xi) \cdot \beta_h), \quad (4.24)$$

где  $k_{\text{об}}$  – удельная теплозащитная характеристика здания, Вт/(м<sup>3</sup>·°C);

$k_{\text{вент}}$  – удельная вентиляционная характеристика здания, Вт/(м<sup>3</sup>·°C);

$k_{\text{быт}}$  - удельная характеристика бытовых тепловыделений здания, Вт/(м<sup>3</sup>·°C);

$k_{\text{рад}}$  – удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации, Вт/(м<sup>3</sup>·°C);

$\nu$  – коэффициент снижения теплопоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций;

$\zeta$  – коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления;

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

$\beta_h$  – коэффициент, учитывающий дополнительное теплопотребление системы отопления, связанное с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их дополнительными теплопотерями через радиаторные участки ограждений, повышенной

температурой воздуха в угловых помещениях, теплотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения;

Подставим значения в формулу и получим:

$$q_{от}^p = ((0,167 + 0,020 - (0,120 + 0,074) \cdot 0,837 \cdot 0,7) \cdot (1-0,1) \cdot 1,05) = 0,069 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}).$$

Полученная расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период меньше 0,414 Вт/(м<sup>3</sup>·°C) – величины, требуемой [1].

Найдем величину отклонения расчетного значения удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормативного:

$$(q_{от}^p - q_{от}^{тр}) / (q_{от}^{тр} / 100) = (0,069 - 0,414) / (0,414 / 100) = - 83,3 \text{ \%}.$$

Класс энергетической эффективности здания «А++».

#### 4.2.5 Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период  $Q_{от}^{год}$ , кВт·ч/год, определяется по формуле:

$$Q_{от}^{год} = 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot V_{от} \cdot q_{от}^p, \quad (4.25)$$

где ГСОП - то же, что и в формуле (4.2);

$V_{от}$  – то же, что и в (4.12);

$q_{от}^p$  – расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период, Вт/(м<sup>3</sup> · °C).

Подставим значения в формулу и получим:

$$Q_{от}^{год} = 0,024 \cdot 6462,5 \cdot 428,97 \cdot 0,069 = 4591 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{год}.$$

#### 4.2.6 Общие теплотери здания за отопительный период

Общие теплотери здания за отопительный период определяется по формуле:

$$Q_{общ}^{год} = 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot V_{от} \cdot (k_{об} + k_{вент}), \quad (4.26)$$

где ГСОП - то же, что и в формуле (4.2);

$V_{от}$  – то же, что и в (4.12);

$k_{об}$  – то же, что и в (4.24);

$k_{вент}$  – то же, что и в (4.24).

Подставим значения в формулу и получим:

$$Q^{zod}_{от} = 0,024 \cdot 6462,5 \cdot 428,97 \cdot (0,167 + 0,020) = 12\,442 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}.$$

#### 4.2.7 Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период

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

$$q = (0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot q^p_{от} \cdot V_{от}) / A_{от}, \quad (4.27)$$

где ГСОП - то же, что и в формуле (4.2);

$V_{от}$  – то же, что и в (4.12);

$q^p_{от}$  – то же, что и в (4.25);

$A_{от}$  – сумма площадей этажей здания, м<sup>2</sup>.

Подставим значения в формулу и получим:

$$q = (0,024 \cdot 6462,5 \cdot 0,069 \cdot 428,97) / 145,92 = 31,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}).$$

С учетом установки геотермального теплового насоса «Термех Energy Pro 24»:

$$q = 31,5 + 5,2 - 22,2 = 14,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}).$$

### 4.3 Расчет теплоэнергетических параметров здания стандартного энергопотребления для условий южной части Красноярского края

#### 4.3.1 Климатические показатели

См. п. 4.2.1.

#### 4.3.2 Описание ограждающих конструкций здания

Наружные стены:

Стеновое ограждение – многослойная конструкция: внутренний слой – гипсокартонный лист Кнауф толщиной 12,5 мм, пароизоляция, стойки деревянного каркаса сечением 50x200 мм с утеплителем – экструдированный пенополистирол Thermit толщиной 200 мм, ветровлагозащита, плита OSB-3 толщиной 12 мм, сайдинг;

Перекрытие чердачное: внутренний слой – гипсокартонный лист Кнауф толщиной 12,5 мм, пароизоляция, лаги из доски камерной сушки сечением 50x250 мм, утеплитель – экструдированный пенополистирол Thermit толщиной 250 мм, ветровлагозащита,

Перекрытие первого этажа: внутренний слой – плита OSB-3 толщиной 22 мм, пароизоляция, лаги из доски камерной сушки сечением 50x250 мм, утеплитель Thermit толщиной 250 мм, ветровлагозащита,

Светопрозрачные конструкции: блоки оконные и по ГОСТ из пятикамерного поливинилхлоридного профиля с заполнением двухкамерным стеклопакетом состоящего из трех листовых стекол толщиной 4 мм марки М1, с мягким низкоэмиссионным покрытием на внутреннем стекле, с расстоянием между стеклами 14 мм, заполнение: наружная камера и внутренняя камера - воздух.

### 4.3.3 Теплотехнический расчет ограждающих конструкций

#### Теплотехнический расчет стенового ограждения

Данная конструкция ограничивает отапливаемый объем жилой части здания, и представляет собой многослойную конструкцию: внутренний слой – гипсокартон Кнауф толщиной 12,5 мм, каркас деревянный из доски камерной сушки сечением 50x200 мм с эффективным утеплителем – плиты из экструдированного пенополистирола Thermit толщиной 200 мм, ветровлагозащита, плита OSB-3 толщиной 12 мм, сайдинг с вентиляционным зазором.

Стеновое ограждение опирается перекрытие из доски камерной сушки толщиной 250 мм. Схема стенового ограждения представлены на рис. 2.1.

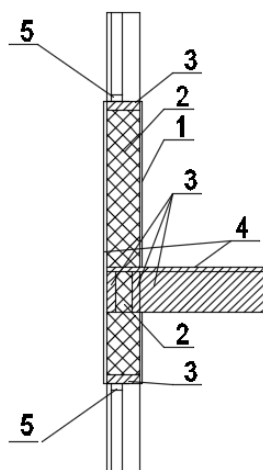


Рисунок 4.3 – Стена

Характеристики материалов конструкции стенового ограждения сведены в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 - Характеристики материалов конструкции стенового ограждения

Материал	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности $\lambda_A$ , Вт/(м·°С)
----------	---	--



1. Гипсокартонный лист Knauf	800	0,21
2. Экструдированный пенополистирол Thermit	25	0,031
3. Доска из сосны камерной сушки	500	0,18
4. Плита OSB-3	600	0,16
5. Светопрозрачное ограждение $R = 0,66 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	-	0,163

#### Элементы, составляющие ограждающую конструкцию

а) стеновое ограждение, состоящее из следующих материалов: ГКЛ Knauf (12,5 мм), доска из сосны камерной сушки (200 мм), экструдированный пенополистирол Thermit (200 мм) – плоский элемент;

б) оконный откос – линейный элемент 1;

в) плита перекрытия с утеплителем – линейный элемент 2.

#### Геометрические характеристики проекций элементов

Фасад здания, включая световые проемы, имеет площадь 263,20 м<sup>2</sup>.

Суммарная площадь световых проемов, расположенных на данном фасаде составляет 22,50 м<sup>2</sup>.

Площадь поверхности фрагмента ограждающей конструкции для расчета приведенного сопротивления теплопередаче  $R_0^{\text{пр}}$  рассчитывается по формуле (4.4):

$$A_{\text{ст}} = 263,20 - 22,50 = 240,70 \text{ м}^2.$$

Доля плоского элемента от общей площади конструкции составляет:

$$a = 240,70/240,70 = 1;$$

Общая длина проекции оконных откосов составляет:  $L_1 = 60,00$  м. Длина проекции этих ребер, приходящихся на 1 м<sup>2</sup> площади фрагмента равна:

$$L_1 = 60,00/240,70 = 0,2493 \text{ м}^{-1};$$

Общая длина перекрытия составляет:  $L_2 = 36,00$  м. Длина проекции перекрытия, приходящихся на 1 м<sup>2</sup> площади фрагмента равна:

$$L_2 = 36,00/240,70 = 0,1496 \text{ м}^{-1}.$$

#### Расчет удельных потерь теплоты, обусловленных элементами

Все температурные поля рассчитываются для температуры наружного воздуха минус 37°С и температуры внутреннего воздуха 21 °С.

Потери теплоты через однородный участок стены, по результатам расчета температурного поля равны  $Q_{1,1} = 11,86$  Вт/м. Температурное поле представлено на рис. 4.4.

Для плоского элемента 1 сопротивление теплопередаче теплозащитной оболочки составляет:

$$R_{01}^{\text{учп}} = [21 - (-37)]/11,86 = 4,89 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Удельные потери теплоты определяются по формуле (4.5):

$$U_1 = 1/4,89 = 0,204 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Для линейного элемента 1 рассчитывается температурное поле узла конструкции, содержащего элемент. Температурное поле представлено на рис. 4.4.

Площадь стены, вошедший в расчетный участок  $S_{1,1} = 1 \text{ м}^2$ . Потери теплоты через стену с оконным откосом, вошедшую в участок, по результатам расчета температурного поля равны  $Q_1^L = 12,62 \text{ Вт}/\text{м}$ .

Дополнительные потери теплоты через линейный элемент 1 определяются по формуле (4.6):

$$\Delta Q_1^L = 12,62 - 11,86 = 0,76 \text{ Вт}/\text{м}.$$

Удельные линейные потери теплоты через линейный элемент 1 определяются по формуле (4.7):

$$\Psi_1 = 0,76/[(21 - (-37))] = 0,013 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C}).$$

Для линейного элемента 2 рассчитывается температурное поле узла конструкции, содержащего элемент. Температурное поле представлено на рис. 4.4.

Площадь однородной стены, вошедший в расчетный участок  $S_{1,1} = 0,628 \text{ м}^2$ . Потери теплоты через стену с оконным откосом, вошедшую в участок, по результатам расчета температурного поля равны  $Q_2^L = 15,73 \text{ Вт}/\text{м}$ .

Дополнительные потери теплоты через линейный элемент 1 по формуле (4.6) составляют:

$$\Delta Q_2^L = 15,73 - 7,45 = 8,28 \text{ Вт}/\text{м}.$$

Удельные линейные потери теплоты через линейный элемент 1 определяются по формуле (4.7):

$$\Psi_1 = 8,28/[(21 - (-37))] = 0,143 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C}).$$

Расчеты удельных характеристик сведены в таблицу 4.2. Температурные поля элементов представлены на рисунке 4.3.

Таблица 4.6 – Удельные характеристики элементов

Элемент фрагмента	Потери теплоты через однородный участок стены	Потери теплоты через неоднородный участок	Удельные потери теплоты	Удельный геометрический показатель
Линейный элемент 1 (рис. 2.3.б)	$Q_{1,1} = 11,86 \text{ Вт/м}$	$Q_1^L = 12,62 \text{ Вт/м}$	$\Psi_1 = 0,013 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$	$l_1 = 0,2493 \text{ м}^{-1}$
Линейный элемент 2 (рис. 2.3.в)	$Q_{2,1} = 7,45 \text{ Вт/м}$	$Q_2^L = 15,73 \text{ Вт/м}$	$\Psi_2 = 0,143 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$	$l_2 = 0,1496 \text{ м}^{-1}$

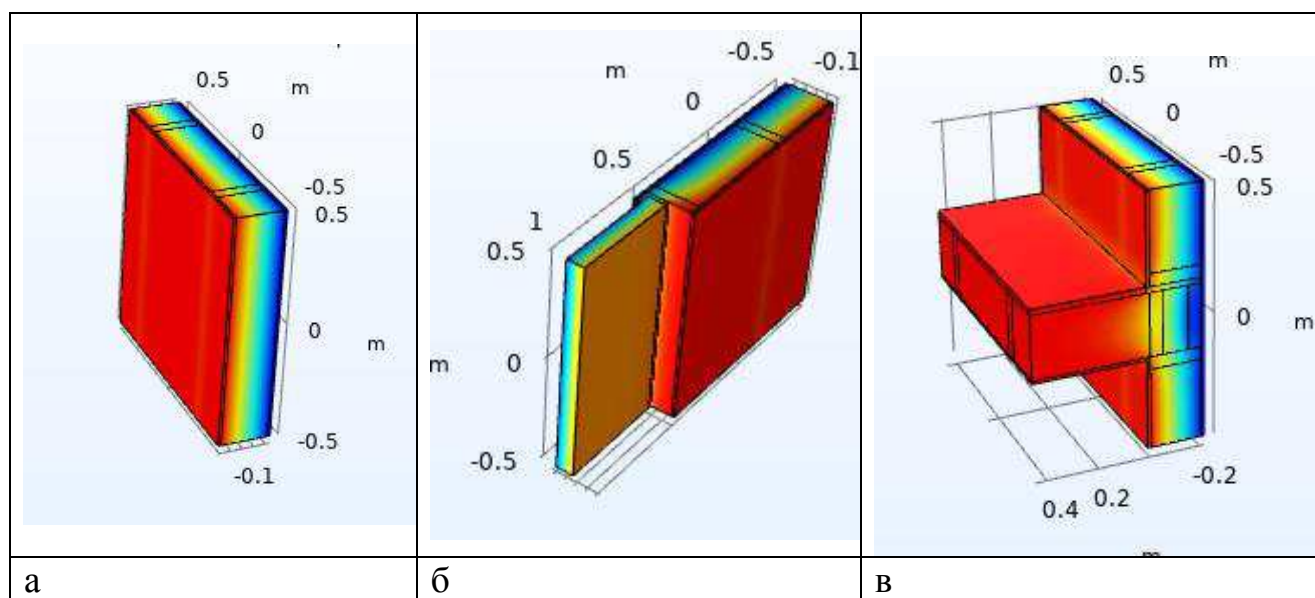


Рисунок 4.4 - Распределение изотерм

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче стены.  
Данные сведены в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Удельные показатели элементов

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a_1 = 1,000$	$U_1 = 0,204 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$	$U_1 a_1 = 0,204 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$	89,24
Линейный элемент 1	$l_1 = 0,2493 \text{ м}^{-1}$	$\Psi_1 = 0,013 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$	$\Psi_1 l_1 = 0,0032 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$	1,40
Линейный элемент 2	$l_2 = 0,1496 \text{ м}^{-1}$	$\Psi_2 = 0,143 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$	$\Psi_2 l_2 = 0,0214 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$	9,36
Итого			$1/R_o^{пр} = 0,2286 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$	100

Приведенное сопротивление теплопередаче стены рассчитывается по формуле:

$$R^{np}_{ст} = 1/(\sum U_j a_j + \sum \Psi_j l_j), \quad (4.8)$$

где  $U_j$  – коэффициент теплопередачи однородной  $j$ -той части фрагмента теплозащитной оболочки здания (удельные потери теплоты через плоский элемент  $j$ -го вида), Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

$a_j$  – площадь плоского элемента конструкции  $j$ -го вида, приходящаяся на 1 м<sup>2</sup> фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;

$\Psi_j$  – удельные потери теплоты через линейную неоднородность  $u$ -го вида, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

$l_j$  – протяженность линейной неоднородности  $j$ -го вида, приходящаяся на 1 м<sup>2</sup> фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, м/м<sup>2</sup>.

Подставим значения в формулу и получим:

$$R^{np}_{ст} = 1/0,2286 = 4,37 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Коэффициент теплотехнической однородности рассчитывается по формуле:

$$r_{ст} = R^{np}_{ст} / R^{усл}_{ст}, \quad (4.9)$$

где  $R^{np}_{ст}$  – приведенное сопротивление теплопередаче стены, м<sup>2</sup>·°C/Вт;

$R^{усл}_{ст}$  – сопротивление теплопередаче теплозащитной оболочки, м<sup>2</sup>·°C/Вт.

Подставим значения в формулу и получим:

$$r_{ст} = 4,37/4,89 = 0,89.$$

Полученное значение  $R^{np}_{ст} = 4,37 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  выше базового значения требуемого сопротивления теплопередаче  $R^{тп}_{ст} = 3,66 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции составляет:

- для жилых помещений:

$$\Delta t_0 = (t_{в} - t_{н}) / (R^{тп}_{ст} \cdot \alpha_{в}) = (21 + 37) / (4,37 \cdot 8,7) = 1,53 \text{ °C} < \Delta t_{н} = 4,0 \text{ °C}.$$

Рассмотренная конструкция соответствует требованиям [1].

Приведенное сопротивление теплопередаче составляет:  $R^{np}_{ст} = 4,37 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Площадь данной ограждающей конструкции составляет:

- по основной части здания:  $A_{ст} = 240,70 \text{ м}^2$ .

Теплотехнический расчет чердачного перекрытия

Данное покрытие ограничивает отапливаемый объем здания.

Характеристики материалов конструкции:

1. Лист ГКЛ Knauf  $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda_A = 0,21 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ;  $\delta = 0,0125 \text{ м}$ ;
2. Пароизоляция (в расчете не учтена);
3. Утеплитель – экструдированный пенополистирол Thermit  $\rho = 25 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda_A = 0,031 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ,  $\delta = 0,25 \text{ м}$ ;
4. Гидро- и влагозащита (в расчете не учтена);

Сопротивление теплопередаче данной ограждающей конструкции с учетом неотапливаемого пространства техподполья по формуле (4.10):

$$R_o = 1/8,7 + 0,0125/0,21 + 0,25/0,031 + 1/12 = 8,32 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт.}$$

Полученное значение сопротивления теплопередаче  $R_{o,пер} = 8,32 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$ , больше нормируемого  $R^{тр}_{пер} = 5,43 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$ .

Температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции составляет:

$$\Delta t_o = (t_b - t_n)/(R_{o,кр.2} \cdot \alpha_b) = (21 + 37)/(8,32 \cdot 8,7) = 0,80 \text{ °C} < t_n = 3,0 \text{ °C.}$$

Рассмотренная конструкция соответствует требованиям [1].

Сопротивление теплопередаче составляет:  $R_{o,кр} = 8,32 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$ .

Площадь данной ограждающей конструкции составляет:  $A_{кр.2} = 88,36 \text{ м}^2$ .

### Теплотехнический расчет перекрытия первого этажа

Данная конструкция ограничивает отапливаемый объем здания.

Характеристики материалов конструкции:

1. Плита OSB-3  $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda_A = 0,16 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ;  $\delta = 0,022 \text{ м}$ ;
2. Пароизоляция (в расчете не учтена);
3. Утеплитель – экструдированный пенополистирол Thermit  $\rho = 25 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda_A = 0,031 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ,  $\delta = 0,25 \text{ м}$ ;
4. Гидро- и влагозащита (в расчете не учтена);

Сопротивление теплопередаче данной ограждающей конструкции с учетом неотапливаемого пространства техподполья по формуле (4.10):

$$R_o = 1/8,7 + 0,022/0,16 + 0,25/0,031 + 1/12 = 8,40 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт.}$$

Полученное значение сопротивления теплопередаче  $R_{o,пер} = 8,40 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$ , больше нормируемого  $R^{тр}_{пер} = 4,81 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$ .

Температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции составляет:

$$\Delta t_o = (t_b - t_n)/(R_{o,цок} \cdot \alpha_b) = (21 + 37)/(8,40 \cdot 8,7) = 0,79 \text{ }^\circ\text{C} < \Delta t_n = 2,0 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Сопrotивление теплопередаче составляет:  $R_{o, цок} = 8,40 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Площадь данной ограждающей конструкции:  $A_{цок} = 88,36 \text{ м}^2$ .

### Светопрозрачные конструкции

Окна выполнены по ГОСТ 30674-99 блоками из поливинилхлоридных профилей с заполнением двухкамерным стеклопакетом состоящего из трех листовых стекол толщиной 4 мм марки М1, с мягким низкоэмиссионным покрытием на внутреннем стекле, с расстоянием между стеклами 14 мм по ГОСТ 24866-99, имеющие приведенное сопротивление теплопередаче  $R_{ок}^{пр} = 0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Площадь данной ограждающей конструкции:  $A_{ок} = 22,5 \text{ м}^2$ .

### Входные двери

В проекте заложена стальная входная дверь коробчатого сечения для входа в жилой дом, имеющую приведенное сопротивление теплопередаче не менее  $1,07 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$  (ГОСТ 31173-2003).

Площадь данной ограждающей конструкции:  $A_{дв} = 2,1 \text{ м}^2$ .

## 4.3.4 Расчет удельных характеристик здания

### Удельная теплозащитная характеристика здания

Удельная теплозащитная характеристика здания рассчитывается по формуле (4.11):

$$k_{об} = 1/428,97 \cdot [240,70/4,37 + 22,5/0,75 + 2,1/1,07 + 88,36/8,32 + 88,36/8,40] = 0,252 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{ }^\circ\text{C}).$$

Детали расчета сведены в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Расчет удельной теплозащитной характеристики здания

Наименование фрагмента	$n_{t,i}$	$A_{ф,i}, \text{ м}^2$	$R_{o,i}^{пр}$ $\text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$	$n_{t,i} \cdot A_{ф,i} / R_{o,i}^{пр}$ $\text{ Вт}/\text{ }^\circ\text{C}$	%
Стеновое ограждение ТИП 1	1	240,70	4,37	55,08	50,92
Чердачное перекрытие	1	88,36	8,32	10,62	9,82
Перекрытие над техподпольем	1	88,36	8,40	10,52	9,72
Окна	1	22,5	0,75	30,00	27,73
Входные двери	1	2,1	1,07	1,96	1,81
Сумма		442,02		108,18	100

Нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания определяется по формуле (4.12):

$$k_{об}^{TP} = (4,74/(0,00013 \cdot 6462,5 + 0,61)) \cdot (1/(428,97)^{1/3}) = 0,433 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}).$$

Удельная теплозащитная характеристика меньше нормируемой величины, следовательно, оболочка удовлетворяет нормативным требованиям.

Приведенный трансмиссионный коэффициент:

$$K_{общ} = k_{об} / K_{комп} = 0,252 / 1,030 = 0,245.$$

#### Удельная вентиляционная характеристика здания

Средняя плотность приточного воздуха за отопительный период рассчитывается по формуле (4.13):

$$\rho_v^{вент} = 353 / (273 - 6,5) = 1,326.$$

Удельная теплоемкость воздуха  $c = 1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{°C})$ .

Число часов учета инфильтрации в течение недели  $n_{инф} = 168 \text{ ч}$ .

Число часов работы механической вентиляции в течение недели  $n_{вент} = 168 \text{ ч}$ .

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

Коэффициент эффективности рекуператора  $k_{эф} = 0$ .

Удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха определяется по формуле (4.14):

$$\gamma_n = 3463/(273 - 37) = 14,67 \text{ Н}/\text{м}^3;$$

$$\gamma_v = 3463/(273 + 21) = 11,78 \text{ Н}/\text{м}^3.$$

Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций определяется по формулам (4.15), (4.16):

$$\Delta p_{ок} = 0,28 \cdot 6,30 \cdot (14,67 - 11,78) + 0,03 \cdot 14,67 \cdot 4,1^2 = 12,50 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{дв} = 0,55 \cdot 6,30 \cdot (14,67 - 11,78) + 0,03 \cdot 14,67 \cdot 4,1^2 = 17,41 \text{ Па}.$$

Требуемое сопротивление воздухопроницанию окон и входных наружных дверей определяются по формулам (4.17), (4.18):

$$R_{и,ок}^{TP} = 12,50 / 5 = 2,50 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{кг};$$

$$R_{и,дв}^{тр} = 17,41 / 7 = 2,49 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}.$$

Количество инфильтрующегося воздуха, поступающего через неплотности заполнений проемов, полагая, что все они находятся на наветренной стороне определяется по формуле (4.19):

$$G_{инф} = (22,50/2,50) \cdot (12,50/10)^{2/3} + (2,1/2,49) \cdot (17,41/10)^{1/2} = 11,56 \text{ кг/ч};$$

Количество приточного воздуха в здание при неорганизованном притоке либо нормируемое значение при механической вентиляции  $L_{вент} = 0,35 \cdot h_{эт} \cdot A_{ж} = 0,35 \cdot 2,9 \cdot 98,76 = 100,24 \text{ м}^3/\text{ч} < 30 \cdot m = 30 \cdot 5 = 150 \text{ м}^3/\text{ч}$ , в таком случае принимаем  $L_{вент} = 150 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период рассчитывается по суммарному воздухообмену за счет вентиляции и инфильтрации по формуле (4.20):

$$n_{в} = [(150 \cdot 168)/168 + (11,56 \cdot 168)/(168 \cdot 1,326)] / (0,85 \cdot 428,97) = 0,435 \text{ ч}^{-1}.$$

Удельная вентиляционная характеристика здания рассчитывается по формуле (4.21):

$$k_{вент} = 0,28 \cdot 1 \cdot 0,435 \cdot 0,85 \cdot 1,326 \cdot (1 - 0) = 0,137 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}),$$

#### Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания

Величина бытовых тепловыделений на  $1 \text{ м}^2$  площади жилых помещений определяется интерполяцией в соответствии с [1, Г.5]:

$$q_{быт} = 17 + (10-17) / (45-20) \cdot (29,2-20) = 14,42 \text{ Вт}/\text{м}^2,$$

здесь  $29,2 \text{ м}^2$  на человека – расчетная заселенность объекта.

Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания рассчитывается по формуле (4.22):

$$K_{быт} = 14,42 \cdot 98,76 / (428,97 \cdot (21 + 6,5)) = 0,120 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}).$$

#### Удельная характеристика тепlopоступлений в здание от солнечной радиации

Удельная характеристика тепlopоступлений в здание от солнечной радиации рассчитывается по формуле (4.23):

$$Q_{рад}^{год} = \tau_F \cdot k_F (A_{F1}I_1 + A_{F2}I_2 + A_{F3}I_3 + A_{F4}I_4) + \tau_{scy} k_{scy} A_{scy} I_{hor} = 0,8 \cdot 0,68 \cdot (0 \cdot 860 + 6,75 \cdot 1200 + 9,00 \cdot 1808 + 6,75 \cdot 1200) + 0 = 17 \ 664,77 \text{ МДж};$$



$$k_{\text{рад}} = 11,6 \cdot 17664,77 / (428,97 \cdot 6462,5) = 0,074 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}).$$

Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период

Расчетную удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период рассчитывается по формуле (4.24):

$$q_{\text{от}}^p = ((0,252 + 0,137 - (0,120 + 0,074) \cdot 0,837 \cdot 0,7) \cdot (1 - 0,1) \cdot 1,05) = 0,260 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}).$$

Полученная расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период меньше 0,414 Вт/(м<sup>3</sup>·°C) – величины, требуемой [1].

Найдем величину отклонения расчетного значения удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормативного:

$$(q_{\text{от}}^p - q_{\text{от}}^{\text{TP}}) / (q_{\text{от}}^{\text{TP}} / 100) = (0,260 - 0,414) / (0,414 / 100) = - 37,2 \text{ \%}.$$

Класс энергетической эффективности здания «В+».

#### **4.3.5 Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период**

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период  $Q_{\text{от}}^{\text{год}}$ , кВт·ч/год, определим по формуле (4.25):

$$Q_{\text{от}}^{\text{год}} = 0,024 \cdot 6462,5 \cdot 428,97 \cdot 0,260 = 17\,299 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{год}.$$

#### **4.3.6 Общие теплопотери здания за отопительный период**

Общие теплопотери здания за отопительный период определим по формуле (4.26):

$$Q_{\text{от}}^{\text{год}} = 0,024 \cdot 6462,5 \cdot 428,97 \cdot (0,252 + 0,137) = 25\,882 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{год}.$$

#### **4.3.7 Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период**

Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период  $q$ , кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год), определим по формуле (4.27):

$$q = (0,024 \cdot 6462,5 \cdot 0,260 \cdot 428,97) / 145,92 = 118,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / (\text{м}^2 \cdot \text{год}).$$

#### 4.4 Расчет теплоэнергетических параметров здания с применением энергоэффективных инженерных и конструктивных решений для условий северной части Красноярского края

##### 4.4.1 Климатические показатели

Район строительства – северная часть Красноярского края;

Расчетная температура наружного воздуха  $t_n = -47 \text{ }^\circ\text{C}$  [2];

Расчетная температура внутреннего воздуха жилой части  $t_{в.жил} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$  [3];

Продолжительность отопительного периода  $z_{от} = 295 \text{ сут.}$  [2];

Средняя суточная температура отопительного периода  $t_{от} = -15,1 \text{ }^\circ\text{C}$  [2];

Расчетная относительная влажность внутреннего воздуха  $\phi_v = 55 \%$  [1].

Условие эксплуатации наружных ограждающих конструкций «А» [1].

Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) для ограждающих конструкций жилых квартир найдем по формуле (4.1):

$$D_d = (21 + 15,1) \cdot 295 = 10\,649,5 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{сут.}$$

Определим базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций по [1, табл. 3]:

- для наружных найдем по формуле (4.2):

$$R_{ст.1}^{тр} = 0,00035 \cdot 10649,5 + 1,4 = 5,13 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C} / \text{Вт};$$

- для окон найдем по формуле (4.2):

$$R_{ок.1}^{тр} = 0,00005 \cdot 10649,5 + 0,3 = 0,83 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C} / \text{Вт};$$

- для входных дверей найдем по формуле (4.3):

$$R_{дв.1}^{тр} = 0,6 \cdot (21 - (-47)) / (4,0 \cdot 8,7) = 1,17 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C} / \text{Вт};$$

- для чердачного перекрытия (неотапливаемый вентилируемый чердак) найдем по формуле (4.2):

$$R_{кр.2}^{тр} = 0,0005 \cdot 10649,5 + 2,2 = 7,52 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C} / \text{Вт};$$

- перекрытие первого этажа найдем по формуле (4.2):

$$R_{цок.1}^{тр} = 0,00045 \cdot 10649,5 + 1,9 = 6,69 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C} / \text{Вт}.$$

Нормируемые температурные перепады  $\Delta t^H$  между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций:

- стен жилой части дома – 4 °С [1];
- перекрытий чердачных – 3 °С [1].

#### **4.4.2 Описание ограждающих конструкций здания**

##### Наружные стены:

Стеновое ограждение – многослойная конструкция: внутренний слой – гипсокартонный лист Кнауф толщиной 12,5 мм, пароизоляция, стойки деревянного каркаса сечением 50x200 мм с утеплителем – экструдированный пенополистирол Thermit толщиной 200 мм, ветровлагозащита, плита OSB-3 толщиной 12 мм, сайдинг;

Перекрытие чердачное: внутренний слой – гипсокартонный лист Кнауф толщиной 12,5 мм, пароизоляция, лаги из доски камерной сушки сечением 50x250 мм, утеплитель – экструдированный пенополистирол Thermit толщиной 250 мм, ветровлагозащита,

Перекрытие первого этажа: внутренний слой – плита OSB-3 толщиной 22 мм, пароизоляция, лаги из доски камерной сушки сечением 50x250 мм, утеплитель Thermit толщиной 250 мм, ветровлагозащита,

Светопрозрачные конструкции: блоки оконные и по ГОСТ из пятикамерного поливинилхлоридного профиля с заполнением двухкамерным стеклопакетом состоящего из трех листовых стекол толщиной 4 мм марки М1, с мягким низкоэмиссионным покрытием на внутреннем стекле, с расстоянием между стеклами 14 мм, заполнение: наружная камера и внутренняя камера - воздух.

#### **4.4.3 Теплотехнический расчет ограждающих конструкций**

##### Теплотехнический расчет стенового ограждения

Данная конструкция ограничивает отапливаемый объем жилой части здания, и представляет собой многослойную конструкцию: внутренний слой – гипсокартон Кнауф толщиной 12,5 мм, каркас деревянный из доски камерной сушки сечением 50x200 мм с эффективным утеплителем – плиты из экструдированного пенополистирола Thermit толщиной 200 мм, обрешетка с эффективным утеплителем – плиты из экструдированного пенополистирола Thermit толщиной 200 мм, ветровлагозащита, сайдинг с вентиляционным зазором.

Стеновое ограждение опирается на перекрытие из доски камерной сушки толщиной 250 мм. Схема стенового ограждения представлена на рис. 2.1.

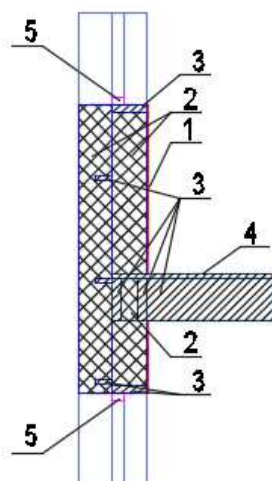


Рисунок 4.5 – Стена

Характеристики материалов конструкции стенового ограждения сведены в таблицу 4.9.

Таблица 4.9 - Характеристики материалов конструкции стенового ограждения

Материал	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности $\lambda_A$ , Вт/(м·°С)
1. Гипсокартонный лист Кнауф	800	0,21
2. Экструдированный пенополистирол Thermit	25	0,031
3. Доска из сосны камерной сушки	500	0,18
4. Плита OSB-3	600	0,16
5. Светопрозрачное ограждение $R = 0,66 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	-	0,163

#### Элементы, составляющие ограждающую конструкцию

а) стеновое ограждение, состоящее из следующих материалов: ГКЛ Кнауф (12,5 мм), доска из сосны камерной сушки (200 мм), экструдированный пенополистирол Thermit (200 мм) – плоский элемент;

б) оконный откос – линейный элемент 1;

в) плита перекрытия с утеплителем – линейный элемент 2.

#### Геометрические характеристики проекций элементов

Фасад здания, включая световые проемы, имеет площадь 263,20 м<sup>2</sup>.

Суммарная площадь световых проемов, расположенных на данном фасаде составляет 22,50 м<sup>2</sup>.

Площадь поверхности фрагмента ограждающей конструкции для расчета приведенного сопротивления теплопередаче  $R_o^{пр}$  рассчитывается по формуле (4.4):

$$A_{ст} = 263,20 - 22,50 = 240,70 \text{ м}^2.$$

Доля плоского элемента от общей площади конструкции составляет:

$$a = 240,70/240,70 = 1;$$

Общая длина проекции оконных откосов составляет:  $L_1 = 60,00$  м. Длина проекции этих ребер, приходящихся на  $1 \text{ м}^2$  площади фрагмента равна:

$$L_1 = 60,00/240,70 = 0,2493 \text{ м}^{-1};$$

Общая длина перекрытия составляет:  $L_2 = 36,00$  м. Длина проекции перекрытия, приходящихся на  $1 \text{ м}^2$  площади фрагмента равна:

$$L_2 = 36,00/240,70 = 0,1496 \text{ м}^{-1}.$$

#### Расчет удельных потерь теплоты, обусловленных элементами

Все температурные поля рассчитываются для температуры наружного воздуха минус  $47^\circ\text{C}$  и температуры внутреннего воздуха  $21^\circ\text{C}$ .

Потери теплоты через однородный участок стены, по результатам расчета температурного поля равны  $Q_{1,1} = 6,13$  Вт/м. Температурное поле представлено на рис. 4.6.

Для плоского элемента 1 сопротивление теплопередаче теплозащитной оболочки составляет:

$$R_{01}^{\text{усл}} = [21 - (-47)]/6,13 = 11,09 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Удельные потери теплоты определяются по формуле (4.5):

$$U_1 = 1/11,09 = 0,090 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Для линейного элемента 1 рассчитывается температурное поле узла конструкции, содержащего элемент. Температурное поле представлено на рис. 4.6.

Площадь стены, вошедший в расчетный участок  $S_{1,1} = 1 \text{ м}^2$ . Потери теплоты через стену с оконным откосом, вошедшую в участок, по результатам расчета температурного поля равны  $Q_1^L = 7,36$  Вт/м.

Дополнительные потери теплоты через линейный элемент 1 определяются по формуле (4.6):

$$\Delta Q_1^L = 7,36 - 6,13 = 1,23 \text{ Вт}/\text{м}.$$

Удельные линейные потери теплоты через линейный элемент 1 определяются по формуле (4.7):

$$\Psi_1 = 1,23/[(21 - (-47))] = 0,018 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}).$$

Для линейного элемента 2 рассчитывается температурное поле узла конструкции, содержащего элемент. Температурное поле представлено на рис. 4.6.

Площадь однородной стены, вошедший в расчетный участок  $S_{1,1} = 0,628 \text{ м}^2$ . Потери теплоты через стену с оконным откосом, вошедшую в участок, по результатам расчета температурного поля равны  $Q_2^L = 6,84 \text{ Вт/м}$ .

Дополнительные потери теплоты через линейный элемент 1 по формуле (4.6) составляют:

$$\Delta Q_2^L = 6,84 - 3,85 = 2,99 \text{ Вт/м}.$$

Удельные линейные потери теплоты через линейный элемент 1 определяются по формуле (4.7):

$$\Psi_1 = 2,99 / [(21 - (-47))] = 0,044 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}.$$

Расчеты удельных характеристик сведены в таблицу 4.10. Температурные поля элементов представлены на рисунке 4.6.

Таблица 4.10 – Удельные характеристики элементов

Элемент фрагмента	Потери теплоты через однородный участок стены	Потери теплоты через неоднородный участок	Удельные потери теплоты	Удельный геометрический показатель
Линейный элемент 1 (рис. 2.3.б)	$Q_{1,1} = 6,13 \text{ Вт/м}$	$Q_1^L = 7,36 \text{ Вт/м}$	$\Psi_1 = 0,018 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$	$l_1 = 0,2493 \text{ м}^{-1}$
Линейный элемент 2 (рис. 2.3.в)	$Q_{2,1} = 3,85 \text{ Вт/м}$	$Q_2^L = 6,84 \text{ Вт/м}$	$\Psi_2 = 0,044 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$	$l_2 = 0,1496 \text{ м}^{-1}$

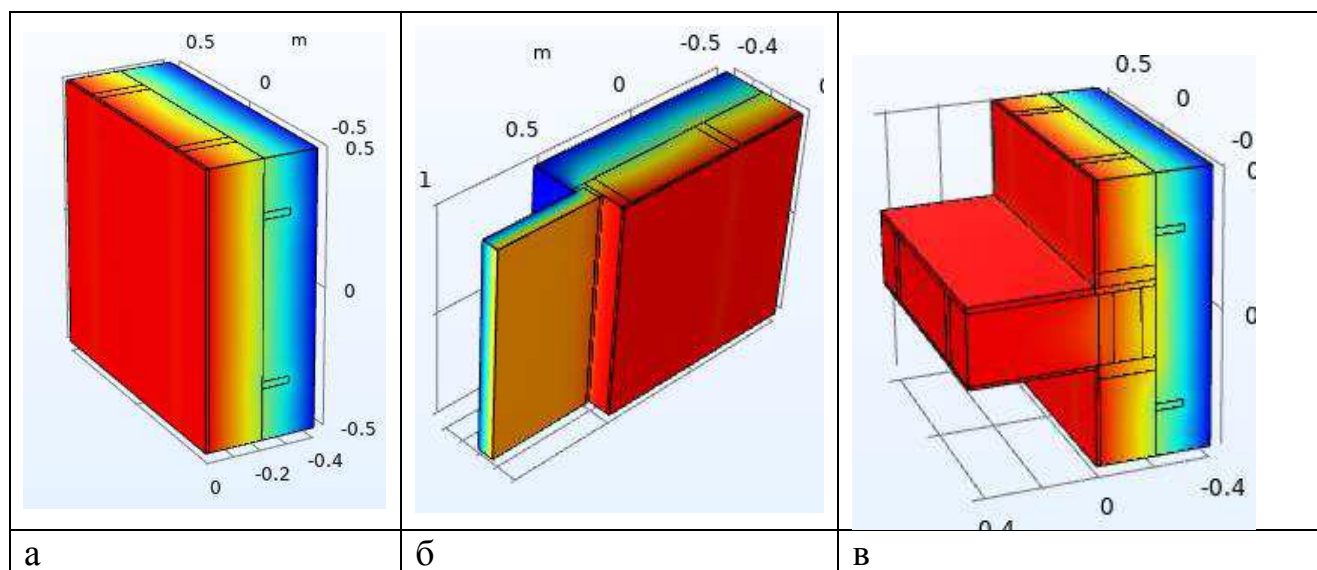


Рисунок 4.6 - Распределение изотерм

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче стены.  
Данные сведены в таблицу 4.11.

Таблица 4.11 – Удельные показатели элементов

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a_1 = 1,000$	$U_1 = 0,090$ Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	$U_1 a_1 = 0,090$ Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	89,02
Линейный элемент 1	$l_1 = 0,2493$ м <sup>-1</sup>	$\Psi_1 = 0,018$ Вт/(м·°C)	$\Psi_1 l_1 = 0,0045$ Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	4,45
Линейный элемент 2	$l_2 = 0,1496$ м <sup>-1</sup>	$\Psi_2 = 0,044$ Вт/(м·°C)	$\Psi_2 l_2 = 0,0066$ Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	6,53
Итого			$1/R_o^{np} = 0,1011$ Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	100

Приведенное сопротивление теплопередаче стены рассчитывается по формуле (4.8):

$$R_{ст}^{np} = 1/0,1011 = 9,89 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Коэффициент теплотехнической однородности рассчитывается по формуле (4.9):

$$r_{ст} = 9,89/11,09 = 0,89.$$

Полученное значение  $R_{ст}^{np} = 9,89 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  выше базового значения требуемого сопротивления теплопередаче  $R_{ст}^{тп} = 5,13 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции составляет:  
- для жилых помещений:

$$\Delta t_o = (t_v - t_n)/(R_{ст}^{np} \cdot \alpha_v) = (21 + 47)/(9,89 \cdot 8,7) = 0,79 \text{ °C} < \Delta t_n = 4,0 \text{ °C}.$$

Рассмотренная конструкция соответствует требованиям [1].

Приведенное сопротивление теплопередаче составляет:  $R_{ст}^{np} = 9,89 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Площадь данной ограждающей конструкции составляет:  
- по основной части здания:  $A_{ст} = 240,70 \text{ м}^2$ .

### Теплотехнический расчет чердачного перекрытия

Данное покрытие ограничивает отапливаемый объем здания.

Характеристики материалов конструкции:

1. Лист ГКЛ Knauf  $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda_A = 0,21 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ ;  $\delta = 0,0125 \text{ м}$ ;
2. Пароизоляция (в расчете не учтена);
3. Утеплитель – экструдированный пенополистирол Thermit  $\rho = 25 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda_A = 0,031 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ ,  $\delta = 0,35 \text{ м}$ ;
4. Гидро- и влагозащита (в расчете не учтена);

Сопротивление теплопередаче данной ограждающей конструкции с учетом неотапливаемого пространства техподполья по формуле (4.10):

$$R_o = 1/8,7 + 0,0125/0,21 + 0,35/0,031 + 1/23 = 11,51 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}.$$

Полученное значение сопротивления теплопередаче  $R_{o,\text{пер}} = 11,51 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}$ , больше нормируемого  $R^{\text{тр}}_{\text{пер}} = 7,52 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}$ .

Температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции составляет:

$$\Delta t_o = (t_b - t_n)/(R_{o, \text{кр.2}} \cdot \alpha_b) = (21 + 47)/(11,51 \cdot 8,7) = 0,68 \text{ }^\circ\text{С} < t_n = 3,0 \text{ }^\circ\text{С}.$$

Рассмотренная конструкция соответствует требованиям [1].

Сопротивление теплопередаче составляет:  $R_{o, \text{кр}} = 11,51 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}$ .

Площадь данной ограждающей конструкции составляет:  $A_{\text{кр.2}} = 88,36 \text{ м}^2$ .

#### Теплотехнический расчет перекрытия первого этажа

Данная конструкция ограничивает отапливаемый объем здания.

Характеристики материалов конструкции:

1. Плита OSB-3  $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda_A = 0,16 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ ;  $\delta = 0,022 \text{ м}$ ;
2. Пароизоляция (в расчете не учтена);
3. Утеплитель – экструдированный пенополистирол Thermit  $\rho = 25 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda_A = 0,031 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ ,  $\delta = 0,35 \text{ м}$ ;
4. Гидро- и влагозащита (в расчете не учтена);

Сопротивление теплопередаче данной ограждающей конструкции с учетом неотапливаемого пространства техподполья по формуле (4.10):

$$R_o = 1/8,7 + 0,022/0,16 + 0,35/0,031 + 1/23 = 11,59 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}.$$

Полученное значение сопротивления теплопередаче  $R_{o,\text{пер}} = 11,59 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}$ , больше нормируемого  $R^{\text{тр}}_{\text{пер}} = 6,69 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}$ .

Температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции составляет:

$$\Delta t_o = (t_b - t_n)/(R_{o, \text{цок}} \cdot \alpha_b) = (21 + 47)/(11,59 \cdot 8,7) = 0,67 \text{ }^\circ\text{С} < \Delta t_n = 2,0 \text{ }^\circ\text{С}.$$



Сопротивление теплопередаче составляет:  $R_{o, цок} = 11,59 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .  
 Площадь данной ограждающей конструкции:  $A_{цок} = 88,36 \text{ м}^2$ .

#### Светопрозрачные конструкции

Окна выполнены по ГОСТ 30674-99 блоками из поливинилхлоридных профилей с заполнением двухкамерным стеклопакетом состоящего из трех листовых стекол толщиной 4 мм марки М1, с мягким низкоэмиссионным покрытием на внутреннем стекле, с расстоянием между стеклами 14 мм по ГОСТ 24866-99, имеющие приведенное сопротивление теплопередаче  $R_{ок}^{пр} = 0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Площадь данной ограждающей конструкции:  $A_{ок} = 22,5 \text{ м}^2$ .

#### Входные двери

В проекте заложена стальная входная дверь коробчатого сечения для входа в жилой дом, имеющую приведенное сопротивление теплопередаче не менее  $1,07 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  (ГОСТ 31173-2003).

Площадь данной ограждающей конструкции:  $A_{дв} = 2,1 \text{ м}^2$ .

### **4.4.4 Расчет удельных характеристик здания**

#### Удельная теплозащитная характеристика здания

Удельная теплозащитная характеристика здания рассчитывается по формуле (4.11):

$$k_{об} = 1/428,97 \cdot [240,70/9,89 + 22,5/0,75 + 2,1/1,07 + 88,36/11,51 + 88,36/11,59] = 0,167 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}).$$

Детали расчета сведены в таблицу 4.12.

Таблица 4.12 – Расчет удельной теплозащитной характеристики здания

Наименование фрагмента	$n_{t,i}$	$A_{ф,i}, \text{ м}^2$	$R_{o, i}^{пр}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	$n_{t,i} \cdot A_{ф,i} / R_{o, i}^{пр}, \text{ Вт}/\text{°C}$	%
Стеновое ограждение	1	240,70	9,89	24,34	33,99
Чердачное перекрытие	1	88,36	11,51	7,68	10,73
Перекрытие над техподпольем	1	88,36	11,59	7,62	10,64
Окна	1	22,5	0,75	30,00	41,90
Входные двери	1	2,1	1,07	1,96	2,74

Сумма		442,02		71,60	100
-------	--	--------	--	-------	-----

Нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания определяется по формуле (4.12):

$$k_{об}^{TP} = (4,74 / (0,00013 \cdot 10649,5 + 0,61)) \cdot (1 / (428,97)^{1/3}) = 0,315 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}).$$

Удельная теплозащитная характеристика меньше нормируемой величины, следовательно, оболочка удовлетворяет нормативным требованиям.

Приведенный трансмиссионный коэффициент:

$$K_{общ} = k_{об} / K_{комп} = 0,167 / 1,030 = 0,162.$$

#### Удельная вентиляционная характеристика здания

Средняя плотность приточного воздуха за отопительный период рассчитывается по формуле (4.13):

$$\rho_v^{вент} = 353 / (273 - 15,1) = 1,369.$$

Удельная теплоемкость воздуха  $c = 1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{°C})$ .

Число часов учета инфильтрации в течение недели  $n_{инф} = 168 \text{ ч}$ .

Число часов работы механической вентиляции в течение недели  $n_{вент} = 168 \text{ ч}$ .

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

Коэффициент эффективности рекуператора  $k_{эф} = 0$ .

Удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха определяется по формуле (4.14):

$$\gamma_n = 3463 / (273 - 47) = 15,32 \text{ Н}/\text{м}^3;$$

$$\gamma_v = 3463 / (273 + 21) = 11,78 \text{ Н}/\text{м}^3.$$

Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций определяется по формулам (4.15), (4.16):

$$\Delta p_{ок} = 0,28 \cdot 6,30 \cdot (15,32 - 11,78) + 0,03 \cdot 15,32 \cdot 4,1^2 = 13,97 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{дв} = 0,55 \cdot 6,30 \cdot (15,32 - 11,78) + 0,03 \cdot 15,32 \cdot 4,1^2 = 19,99 \text{ Па}.$$

Требуемое сопротивление воздухопроницанию окон и входных наружных дверей определяются по формулам (4.17), (4.18):

$$R_{\text{тр}_{\text{и,ок}}} = 13,97 / 5 = 2,79 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг};$$

$$R_{\text{тр}_{\text{и,дв}}} = 19,99 / 7 = 2,86 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}.$$

Количество инфильтрующегося воздуха, поступающего через неплотности заполнений проемов, полагая, что все они находятся на наветренной стороне определяется по формуле (4.19):

$$G_{\text{инф}} = (22,50/2,79) \cdot (13,97/10)^{2/3} + (2,1/2,86) \cdot (19,99/10)^{1/2} = 11,00 \text{ кг/ч};$$

Количество приточного воздуха в здание при неорганизованном притоке либо нормируемое значение при механической вентиляции  $L_{\text{вент}} = 0,35 \cdot h_{\text{эт}} \cdot A_{\text{ж}} = 0,35 \cdot 2,9 \cdot 98,76 = 100,24 \text{ м}^3/\text{ч} < 30 \cdot m = 30 \cdot 5 = 150 \text{ м}^3/\text{ч}$ , в таком случае принимаем  $L_{\text{вент}} = 150 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период рассчитывается по суммарному воздухообмену за счет вентиляции и инфильтрации по формуле (4.20):

$$n_{\text{в}} = [(150 \cdot 168)/168 + (11,00 \cdot 168)/(168 \cdot 1,369)] / (0,85 \cdot 428,97) = 0,433 \text{ ч}^{-1}.$$

Удельная вентиляционная характеристика здания рассчитывается по формуле (4.21):

$$k_{\text{вент}} = 0,28 \cdot 1 \cdot 0,433 \cdot 0,85 \cdot 1,369 \cdot (1 - 0,85) = 0,021 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}),$$

#### Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания

Величина бытовых тепловыделений на  $1 \text{ м}^2$  площади жилых помещений определяется интерполяцией в соответствии с [1, Г.5]:

$$q_{\text{быт}} = 17 + (10-17) / (45-20) \cdot (29,2-20) = 14,42 \text{ Вт}/\text{м}^2,$$

здесь  $29,2 \text{ м}^2$  на человека – расчетная заселенность объекта.

Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания рассчитывается по формуле (4.22):

$$K_{\text{быт}} = 14,42 \cdot 98,76 / (428,97 \cdot (21 + 15,1)) = 0,092 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}).$$

#### Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации

Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации рассчитывается по формуле (4.23):

$$Q_{\text{рад}}^{\text{год}} = \tau_F \cdot k_F (A_{F1}I_1 + A_{F2}I_2 + A_{F3}I_3 + A_{F4}I_4) + \tau_{\text{scy}} k_{\text{scy}} A_{\text{scy}} I_{\text{hor}} = 0,8 \cdot 0,68 \cdot (0 \cdot 860 + 6,75 \cdot 1200 + 9,00 \cdot 1808 + 6,75 \cdot 1200) + 0 = 17\,664,77 \text{ МДж};$$

$$k_{\text{рад}} = 11,6 \cdot 17664,77 / (428,97 \cdot 10649,5) = 0,045 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период

Расчетную удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период рассчитывается по формуле (4.24):

$$q_{\text{от}}^p = ((0,167 + 0,021 - (0,092 + 0,045) \cdot 0,941 \cdot 0,7) \cdot (1 - 0,1) \cdot 1,05) = 0,092 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Полученная расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период меньше 0,501 Вт/(м<sup>3</sup>·°C) – величины, требуемой [1].

Найдем величину отклонения расчетного значения удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормативного:

$$(q_{\text{от}}^p - q_{\text{от}}^{\text{ТР}}) / (q_{\text{от}}^{\text{ТР}} / 100) = (0,092 - 0,501) / (0,501 / 100) = - 81,64 \text{ \%}.$$

Класс энергетической эффективности здания «А++».

#### **4.4.5 Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период**

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период  $Q_{\text{от}}^{\text{год}}$ , кВт·ч/год, определим по формуле (4.25):

$$Q_{\text{от}}^{\text{год}} = 0,024 \cdot 10649,5 \cdot 428,97 \cdot 0,092 = 10\,087 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{год}.$$

#### **4.4.6 Общие теплопотери здания за отопительный период**

Общие теплопотери здания за отопительный период определим по формуле (4.26):

$$Q_{\text{от}}^{\text{год}} = 0,024 \cdot 10649,5 \cdot 428,97 \cdot (0,167 + 0,021) = 20\,612 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{год}.$$

#### **4.4.7 Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период**

Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период  $q$ , кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год), определим по формуле (4.27):

$$q = (0,024 \cdot 10649,5 \cdot 0,092 \cdot 428,97) / 145,92 = 69,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / (\text{м}^2 \cdot \text{год}).$$

С учетом геотермального теплового насоса «Termex Energy Pro 24» с горизонтальным грунтовым теплообменником, заглубленным в мерзлый грунт на глубину 2,5 м и пониженным КПД в связи с пониженной температурой вокруг теплообменника:

$$q = 69,1 + 5,2 - 22,2 \cdot 0,75 = 57,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / (\text{м}^2 \cdot \text{год}).$$

## **4.5 Расчет теплоэнергетических параметров здания стандартного энергопотребления для условий северной части Красноярского края**

### **4.5.1 Климатические показатели**

См. п. 4.4.1.

### **4.5.2 Описание ограждающих конструкций здания**

Наружные стены:

Стеновое ограждение – многослойная конструкция: внутренний слой – гипсокартонный лист Knauf толщиной 12,5 мм, пароизоляция, стойки деревянного каркаса сечением 50x200 мм с утеплителем – экструдированный пенополистирол Thermit толщиной 200 мм, ветровлагозащита, плита OSB-3 толщиной 12 мм, сайдинг;

Перекрытие чердачное: внутренний слой – гипсокартонный лист Knauf толщиной 12,5 мм, пароизоляция, лаги из доски камерной сушки сечением 50x250 мм, утеплитель – экструдированный пенополистирол Thermit толщиной 250 мм, ветровлагозащита,

Перекрытие первого этажа: внутренний слой – плита OSB-3 толщиной 22 мм, пароизоляция, лаги из доски камерной сушки сечением 50x250 мм, утеплитель Thermit толщиной 250 мм, ветровлагозащита,

Светопрозрачные конструкции: блоки оконные и по ГОСТ из пятикамерного поливинилхлоридного профиля с заполнением двухкамерным стеклопакетом состоящего из трех листовых стекол толщиной 4 мм марки M1, с мягким низкоэмиссионным покрытием на внутреннем стекле, с расстоянием между стеклами 14 мм, заполнение: наружная камера и внутренняя камера - воздух.

### **4.5.3 Теплотехнический расчет ограждающих конструкций**

Теплотехнический расчет стенового ограждения

Данная конструкция ограничивает отапливаемый объем жилой части здания, и представляет собой многослойную конструкцию: внутренний слой – гипсокартон Кнауф толщиной 12,5 мм, каркас деревянный из доски камерной сушки с эффективным утеплителем – плиты из экструдированного пенополистирола Thermit толщиной 200 мм, ветровлагозащита, плита OSB-3 толщиной 12 мм, сайдинг с вентиляционным зазором.

Стеновое ограждение опирается перекрытие из доски камерной сушки толщиной 250 мм. Схема стенового ограждения представлены на рис. 2.1.

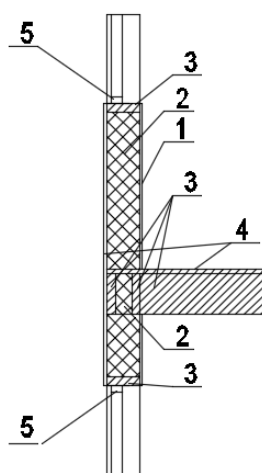


Рисунок 4.7 – Стена

Характеристики материалов конструкции стенового ограждения сведены в таблицу 4.13.

Таблица 4.13 - Характеристики материалов конструкции стенового ограждения

Материал	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности $\lambda_A$ , Вт/(м·°C)
1. Гипсокартонный лист Кнауф	800	0,21
2. Экструдированный пенополистирол Thermit	25	0,031
3. Доска из сосны камерной сушки	500	0,18
4. Плита OSB-3	600	0,16
5. Светопрозрачное ограждение $R = 0,66 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	-	0,163

Элементы, составляющие ограждающую конструкцию

а) стеновое ограждение, состоящее из следующих материалов: ГКЛ Кнауф (12,5 мм), доска из сосны камерной сушки (200 мм), экструдированный пенополистирол Thermit (200 мм), плита OSB-3 – плоский элемент;

б) оконный откос – линейный элемент 1;

в) плита перекрытия с утеплителем – линейный элемент 2.

Геометрические характеристики проекций элементов

Фасад здания, включая световые проемы, имеет площадь 263,20 м<sup>2</sup>.

Суммарная площадь световых проемов, расположенных на данном фасаде составляет 22,50 м<sup>2</sup>.

Площадь поверхности фрагмента ограждающей конструкции для расчета приведенного сопротивления теплопередаче  $R_{0}^{пр}$  рассчитывается по формуле (4.4):

$$A_{ст} = 263,20 - 22,50 = 240,70 \text{ м}^2.$$

Доля плоского элемента от общей площади конструкции составляет:

$$a = 240,70/240,70 = 1;$$

Общая длина проекции оконных откосов составляет:  $L_1 = 60,00$  м. Длина проекции этих ребер, приходящихся на 1 м<sup>2</sup> площади фрагмента равна:

$$L_1 = 60,00/240,70 = 0,2493 \text{ м}^{-1};$$

Общая длина перекрытия составляет:  $L_2 = 36,00$  м. Длина проекции перекрытия, приходящихся на 1 м<sup>2</sup> площади фрагмента равна:

$$L_2 = 36,00/240,70 = 0,1496 \text{ м}^{-1}.$$

#### Расчет удельных потерь теплоты, обусловленных элементами

Все температурные поля рассчитываются для температуры наружного воздуха минус 47°С и температуры внутреннего воздуха 21 °С.

Потери теплоты через однородный участок стены, по результатам расчета температурного поля равны  $Q_{1,1} = 13,99$  Вт/м. Температурное поле представлено на рис. 4.8.

Для плоского элемента 1 сопротивление теплопередаче теплозащитной оболочки составляет:

$$R_{01}^{усл} = [21 - (-47)]/13,99 = 4,86 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Удельные потери теплоты определяются по формуле (4.5):

$$U_1 = 1/4,86 = 0,206 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Для линейного элемента 1 рассчитывается температурное поле узла конструкции, содержащего элемент. Температурное поле представлено на рис. 4.8.

Площадь стены, вошедший в расчетный участок  $S_{1,1} = 1$  м<sup>2</sup>. Потери теплоты через стену с оконным откосом, вошедшую в участок, по результатам расчета температурного поля равны  $Q_1^L = 14,89$  Вт/м.

Дополнительные потери теплоты через линейный элемент 1 определяются по формуле (4.6):

$$\Delta Q_1^L = 14,89 - 13,99 = 0,90 \text{ Вт/м.}$$

Удельные линейные потери теплоты через линейный элемент 1 определяются по формуле (4.7):

$$\Psi_1 = 0,90 / [(21 - (-47))] = 0,013 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}.$$

Для линейного элемента 2 рассчитывается температурное поле узла конструкции, содержащего элемент. Температурное поле представлено на рис. 4.8.

Площадь однородной стены, вошедший в расчетный участок  $S_{1,1} = 0,628 \text{ м}^2$ . Потери теплоты через стену с оконным откосом, вошедшую в участок, по результатам расчета температурного поля равны  $Q_2^L = 18,56 \text{ Вт/м}$ .

Дополнительные потери теплоты через линейный элемент 1 по формуле (4.6) составляют:

$$\Delta Q_2^L = 18,56 - 8,79 = 9,77 \text{ Вт/м.}$$

Удельные линейные потери теплоты через линейный элемент 1 определяются по формуле (4.7):

$$\Psi_1 = 9,77 / [(21 - (-47))] = 0,144 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}.$$

Расчеты удельных характеристик сведены в таблицу 4.2. Температурные поля элементов представлены на рисунке 4.3.

Таблица 4.14 – Удельные характеристики элементов

Элемент фрагмента	Потери теплоты через однородный участок стены	Потери теплоты через неоднородный участок	Удельные потери теплоты	Удельный геометрический показатель
Линейный элемент 1 (рис. 2.3.б)	$Q_{1,1} = 13,99 \text{ Вт/м}$	$Q_1^L = 14,89 \text{ Вт/м}$	$\Psi_1 = 0,013 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$	$l_1 = 0,2493 \text{ м}^{-1}$
Линейный элемент 2 (рис. 2.3.в)	$Q_{2,1} = 8,79 \text{ Вт/м}$	$Q_2^L = 18,56 \text{ Вт/м}$	$\Psi_2 = 0,144 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$	$l_2 = 0,1496 \text{ м}^{-1}$



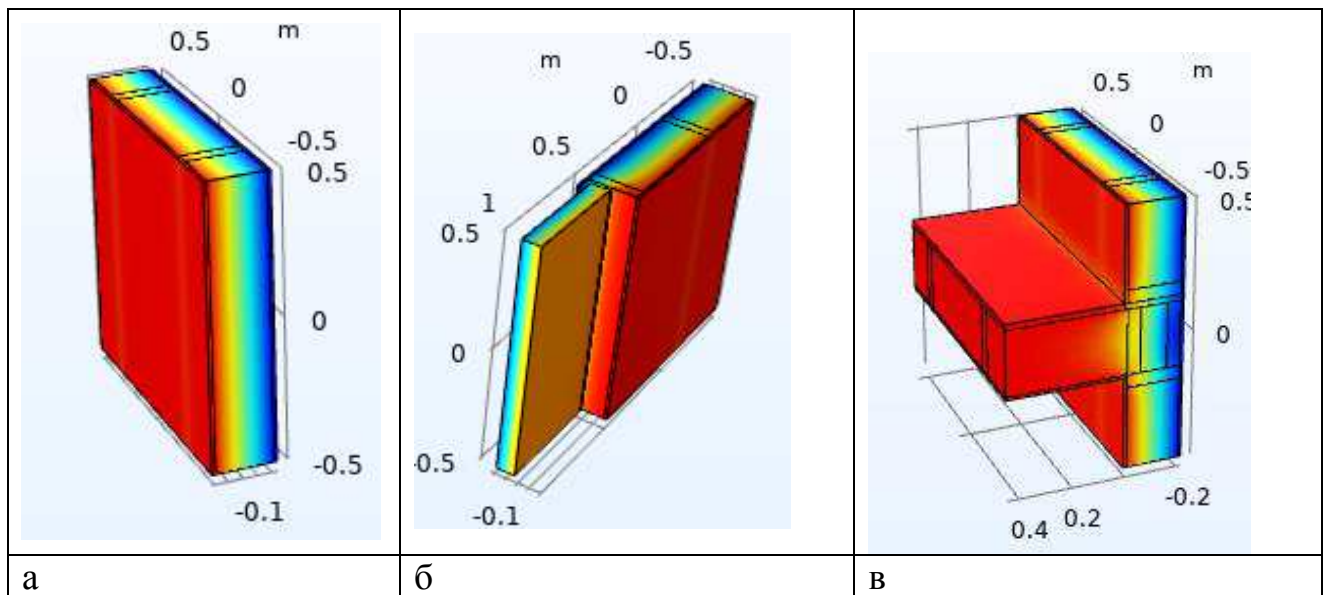


Рисунок 4.8 - Распределение изотерм

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче стены.  
 Данные сведены в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Удельные показатели элементов

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a_1 = 1,000$	$U_1 = 0,206$ Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	$U_1 a_1 = 0,206$ Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	89,29
Линейный элемент 1	$l_1 = 0,2493$ м <sup>-1</sup>	$\Psi_1 = 0,013$ Вт/(м·°C)	$\Psi_1 l_1 = 0,0032$ Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	1,39
Линейный элемент 2	$l_2 = 0,1496$ м <sup>-1</sup>	$\Psi_2 = 0,144$ Вт/(м·°C)	$\Psi_2 l_2 = 0,0215$ Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	9,32
Итого			$1/R_o^{пр} = 0,2307$ Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	100

Приведенное сопротивление теплопередаче стены рассчитывается по формуле (4.8):

$$R_{ст}^{пр} = 1/0,2307 = 4,34 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Коэффициент теплотехнической однородности рассчитывается по формуле (4.9):

$$r_{ст} = 4,34/4,86 = 0,89.$$

Полученное значение  $R^{np}_{ct} = 4,34 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  ниже базового значения требуемого сопротивления теплопередаче  $R^{tp}_{ct} = 5,13 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции составляет:  
- для жилых помещений:

$$\Delta t_o = (t_b - t_n)/(R^{np}_{ct} \cdot \alpha_b) = (21 + 47)/(4,34 \cdot 8,7) = 1,80 \text{ °C} < \Delta t_n = 4,0 \text{ °C}.$$

Рассмотренная конструкция соответствует требованиям [1].

Приведенное сопротивление теплопередаче составляет:  $R^{np}_{ct} = 4,34 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Площадь данной ограждающей конструкции составляет:  
- по основной части здания:  $A_{ct} = 240,70 \text{ м}^2$ .

#### Теплотехнический расчет чердачного перекрытия

Данное покрытие ограничивает отапливаемый объем здания.

Характеристики материалов конструкции:

1. Лист ГКЛ Knauf  $\rho = 800 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $\lambda_A = 0,21 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ;  $\delta = 0,0125 \text{ м}$ ;
2. Пароизоляция (в расчете не учтена);
3. Утеплитель – экструдированный пенополистирол Thermit  $\rho = 25 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $\lambda_A = 0,031 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ,  $\delta = 0,25 \text{ м}$ ;
4. Гидро- и влагозащита (в расчете не учтена);

Сопротивление теплопередаче данной ограждающей конструкции с учетом неотапливаемого пространства техподполья по формуле (4.10):

$$R_o = 1/8,7 + 0,0125/0,21 + 0,25/0,031 + 1/23 = 8,28 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Полученное значение сопротивления теплопередаче  $R_{o,пер} = 8,28 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , больше нормируемого  $R^{tp}_{пер} = 7,52 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции составляет:

$$\Delta t_o = (t_b - t_n)/(R_o \cdot \alpha_b) = (21 + 47)/(8,28 \cdot 8,7) = 0,94 \text{ °C} < t_n = 3,0 \text{ °C}.$$

Рассмотренная конструкция соответствует требованиям [1].

Сопротивление теплопередаче составляет:  $R_{o,кр} = 8,28 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Площадь данной ограждающей конструкции составляет:  $A_{кр,2} = 88,36 \text{ м}^2$ .

#### Теплотехнический расчет перекрытия первого этажа

Данная конструкция ограничивает отапливаемый объем здания.

Характеристики материалов конструкции:

1. Плита OSB-3  $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda_A = 0,16 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ;  $\delta = 0,022 \text{ м}$ ;
2. Пароизоляция (в расчете не учтена);
3. Утеплитель – экструдированный пенополистирол Thermit  $\rho = 25 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda_A = 0,031 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ,  $\delta = 0,25 \text{ м}$ ;
4. Гидро- и влагозащита (в расчете не учтена);

Сопротивление теплопередаче данной ограждающей конструкции с учетом неотапливаемого пространства техподполья по формуле (4.10):

$$R_o = 1/8,7 + 0,022/0,16 + 0,25/0,031 + 1/23 = 8,36 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт.}$$

Полученное значение сопротивления теплопередаче  $R_{o,\text{пер}} = 8,36 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$ , больше нормируемого  $R^{\text{нр}}_{\text{пер}} = 6,69 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$ .

Температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции составляет:

$$\Delta t_o = (t_b - t_n)/(R_o \cdot \alpha_b) = (21 + 47)/(8,36 \cdot 8,7) = 0,93 \text{ °C} < \Delta t_n = 2,0 \text{ °C.}$$

Сопротивление теплопередаче составляет:  $R_{o,\text{цок}} = 8,36 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$ .

Площадь данной ограждающей конструкции:  $A_{\text{цок}} = 88,36 \text{ м}^2$ .

#### Светопрозрачные конструкции

Окна выполнены по ГОСТ 30674-99 блоками из поливинилхлоридных профилей с заполнением двухкамерным стеклопакетом состоящего из трех листовых стекол толщиной 4 мм марки М1, с мягким низкоэмиссионным покрытием на внутреннем стекле, с расстоянием между стеклами 14 мм по ГОСТ 24866-99, имеющие приведенное сопротивление теплопередаче  $R^{\text{нр}}_{\text{ок}} = 0,75 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$ .

Площадь данной ограждающей конструкции:  $A_{\text{ок}} = 22,5 \text{ м}^2$ .

#### Входные двери

В проекте заложена стальная входная дверь коробчатого сечения для входа в жилой дом, имеющую приведенное сопротивление теплопередаче не менее  $1,07 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$  (ГОСТ 31173-2003).

Площадь данной ограждающей конструкции:  $A_{\text{дв}} = 2,1 \text{ м}^2$ .

### **4.5.4 Расчет удельных характеристик здания**

#### Удельная теплозащитная характеристика здания

Удельная теплозащитная характеристика здания рассчитывается по формуле (4.11):

$$k_{об} = 1/428,97 \cdot [240,70/4,34 + 22,5/0,75 + 2,1/1,07 + 88,36/8,28 + 88,36/8,36] = 0,253 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С}).$$

Детали расчета сведены в таблицу 4.16.

Таблица 4.16 – Расчет удельной теплозащитной характеристики здания

Наименование фрагмента	$n_{t,i}$	$A_{ф,i}, \text{ м}^2$	$R_{o, i}^{ип}, \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$	$n_{t,i} \cdot A_{ф,i} / R_{o, i}^{ип}, \text{ Вт}/^\circ\text{С}$	%
Стеновое ограждение	1	240,70	4,34	55,46	51,04
Чердачное перекрытие	1	88,36	8,28	10,67	9,82
Перекрытие над техподпольем	1	88,36	8,36	10,57	9,73
Окна	1	22,5	0,75	30,00	27,61
Входные двери	1	2,1	1,07	1,96	1,80
Сумма		442,02		108,66	100

Нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания определяется по формуле (4.12):

$$k_{об}^{тп} = (4,74 / (0,00013 \cdot 10649,5 + 0,61)) \cdot (1 / (428,97)^{1/3}) = 0,315 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С}).$$

Удельная теплозащитная характеристика меньше нормируемой величины, следовательно, оболочка удовлетворяет нормативным требованиям.

Приведенный трансмиссионный коэффициент:

$$K_{общ} = k_{об} / K_{комп} = 0,253 / 1,030 = 0,246.$$

#### Удельная вентиляционная характеристика здания

Средняя плотность приточного воздуха за отопительный период рассчитывается по формуле (4.13):

$$p_v^{вент} = 353 / (273 - 15,1) = 1,369.$$

Удельная теплоемкость воздуха  $c = 1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}).$

Число часов учета инфильтрации в течение недели  $n_{инф} = 168 \text{ ч}.$

Число часов работы механической вентиляции в течение недели  $n_{вент} = 168 \text{ ч}.$

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

Коэффициент эффективности рекуператора  $k_{эф} = 0.$

Удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха определяется по формуле (4.14):

$$\gamma_{\text{н}} = 3463/(273 - 47) = 15,32 \text{ Н/м}^3;$$

$$\gamma_{\text{в}} = 3463/(273 + 21) = 11,78 \text{ Н/м}^3.$$

Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций определяется по формулам (4.15), (4.16):

$$\Delta p_{\text{ок}} = 0,28 \cdot 6,30 \cdot (15,32 - 11,78) + 0,03 \cdot 15,32 \cdot 4,1^2 = 13,97 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{\text{дв}} = 0,55 \cdot 6,30 \cdot (15,32 - 11,78) + 0,03 \cdot 15,32 \cdot 4,1^2 = 19,99 \text{ Па}.$$

Требуемое сопротивление воздухопроницанию окон и входных наружных дверей определяются по формулам (4.17), (4.18):

$$R_{\text{и,ок}}^{\text{тр}} = 13,97 / 5 = 2,79 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг};$$

$$R_{\text{и,дв}}^{\text{тр}} = 19,99 / 7 = 2,86 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}.$$

Количество инфильтрующегося воздуха, поступающего через неплотности заполнения проемов, полагая, что все они находятся на наветренной стороне определяется по формуле (4.19):

$$G_{\text{инф}} = (22,50/2,79) \cdot (13,97/10)^{2/3} + (2,1/2,86) \cdot (19,99/10)^{1/2} = 11,00 \text{ кг/ч};$$

Количество приточного воздуха в здание при неорганизованном притоке либо нормируемое значение при механической вентиляции  $L_{\text{вент}} = 0,35 \cdot h_{\text{эт}} \cdot A_{\text{ж}} = 0,35 \cdot 2,9 \cdot 98,76 = 100,24 \text{ м}^3/\text{ч} < 30 \cdot m = 30 \cdot 5 = 150 \text{ м}^3/\text{ч}$ , в таком случае принимаем  $L_{\text{вент}} = 150 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период рассчитывается по суммарному воздухообмену за счет вентиляции и инфильтрации по формуле (4.20):

$$n_{\text{в}} = [(150 \cdot 168)/168 + (11,00 \cdot 168)/(168 \cdot 1,369)] / (0,85 \cdot 428,97) = 0,433 \text{ ч}^{-1}.$$

Удельная вентиляционная характеристика здания рассчитывается по формуле (4.21):

$$k_{\text{вент}} = 0,28 \cdot 1 \cdot 0,433 \cdot 0,85 \cdot 1,369 \cdot (1 - 0) = 0,141 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С}).$$

#### Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания

Величина бытовых тепловыделений на  $1 \text{ м}^2$  площади жилых помещений определяется интерполяцией в соответствии с [1, Г.5]:

$$q_{\text{быт}} = 17 + (10-17) / (45-20) \cdot (29,2-20) = 14,42 \text{ Вт/м}^2,$$

здесь 29,2 м<sup>2</sup> на человека – расчетная заселенность объекта.

Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания рассчитывается по формуле (4.22):

$$K_{\text{быт}} = 14,42 \cdot 98,76 / (428,97 \cdot (21 + 15,1)) = 0,092 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°C)}.$$

Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации

Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации рассчитывается по формуле (4.23):

$$Q_{\text{рад}}^{\text{год}} = \tau_F \cdot k_F (A_{F1}I_1 + A_{F2}I_2 + A_{F3}I_3 + A_{F4}I_4) + \tau_{\text{scy}} k_{\text{scy}} A_{\text{scy}} I_{\text{hor}} = 0,8 \cdot 0,68 \cdot (0 \cdot 860 + 6,75 \cdot 1200 + 9,00 \cdot 1808 + 6,75 \cdot 1200) + 0 = 17\,664,77 \text{ МДж};$$

$$k_{\text{рад}} = 11,6 \cdot 17664,77 / (428,97 \cdot 10649,5) = 0,045 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°C)}.$$

Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период

Расчетную удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период рассчитывается по формуле (4.24):

$$q_{\text{от}}^p = ((0,253 + 0,141 - (0,092 + 0,045) \cdot 0,941 \cdot 0,7) \cdot (1 - 0,1) \cdot 1,05) = 0,287 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°C)}.$$

Полученная расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период меньше 0,501 Вт/(м<sup>3</sup>·°C) – величины, требуемой [1].

Найдем величину отклонения расчетного значения удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормативного:

$$(q_{\text{от}}^p - q_{\text{от}}^{\text{тр}}) / (q_{\text{от}}^{\text{тр}} / 100) = (0,287 - 0,501) / (0,501 / 100) = - 42,71 \text{ \%}.$$

Класс энергетической эффективности здания «А».

#### **4.5.5 Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период**

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период  $Q_{от}^{год}$ , кВт·ч/год, определим по формуле (4.25):

$$Q_{от}^{год} = 0,024 \cdot 10649,5 \cdot 428,97 \cdot 0,287 = 31\,466 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}.$$

#### **4.5.6 Общие теплотери здания за отопительный период**

Общие теплотери здания за отопительный период определим по формуле (4.26):

$$Q_{от}^{год} = 0,024 \cdot 10649,5 \cdot 428,97 \cdot (0,253 + 0,141) = 43\,198 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}.$$

#### **4.5.7 Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период**

Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период  $q$ , кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год), определим по формуле (4.27):

$$q = (0,024 \cdot 10649,5 \cdot 0,287 \cdot 428,97) / 145,92 = 215,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}).$$

## 5 Технико-экономический анализ

Для проведения полноценного технико-экономического анализа необходимо сравнить строительство и затраты на эксплуатацию «Пассивного» дома с домом стандартного энергопотребления в южной и северной частях Красноярского края. Экономическая целесообразность строительства пассивного дома определяется путем составления локально-сметных расчетов и расчетов затрат на эксплуатацию при одинаковых объемно-планировочных решениях как для пассивного дома, так и для дома со стандартным энергопотреблением.

### 5.1 Локально-сметные расчеты

Локально-сметные расчеты произведены базисно-индексным методом с последующей актуализацией цен посредством индексации, а также на основании прайс-листов поставщиков оборудования и цен, указанных на официальном сайте компаний. Полные локально-сметные расчеты для северной и южной частей Красноярского края отражены в приложении 1. Агрегированные локально-сметные расчеты представлены в таблицах 5.1-5.4.

Таблица 5.1 – Агрегированный локально-сметный расчет на строительство «Пассивного» дома в южной части Красноярского края

Наименование работ	Стоимость, руб.
Устройство деревянного каркаса с фундаментом, наружной обшивкой, заполнением дверных и оконных проемов	3 922 297
Утепление каркаса с применением экструдированного пенополистирола	
Устройство приточно-вытяжной вентиляции роторного типа с рекуперацией Вентс ВУТ Р 700 ЭГ ЕС	
Устройство геотермального теплового насоса TERMEX Energy PRO 24	
Устройство вертикального грунтового теплообменника типа «зонд»	250 000
Подключение холодного водоснабжения	80 000
Подключение электроснабжения	100 000
Устройство канализации	115 000
Итого	<b>4 467 297</b>

Таблица 5.2 – Агрегированный локально-сметный расчет на строительство дома со стандартным энергопотреблением в южной части Красноярского края

Наименование работ	Стоимость, руб.
Устройство деревянного каркаса с фундаментом, наружной обшивкой, заполнением дверных и оконных проемов	2 876 056
Утепление каркаса с применением экструдированного пенополистирола	
Устройство отопительного котла на твердотельном топливе	
Подключение холодного и горячего водоснабжения	120 000
Подключение электроснабжения	100 000



Устройство канализации	115 000
<b>Итого</b>	<b>3 211 056</b>

Таблица 5.3 – Агрегированный локально-сметный расчет на строительство «Пассивного» дома в северной части Красноярского края

Наименование работ	Стоимость, руб.
Устройство деревянного каркаса с фундаментом, наружной обшивкой, заполнением дверных и оконных проемов	5 179 457
Утепление каркаса с применением экструдированного пенополистирола	
Устройство приточно-вытяжной вентиляции роторного типа с рекуперацией Вентс ВУТ Р 700 ЭГ ЕС	
Устройство геотермального теплового насоса TERMEX Energy PRO 24	
Устройство горизонтального грунтового теплообменника	280 000
Подключение холодного водоснабжения	105 000
Подключение электроснабжения	122 000
Устройство канализации	139 000
<b>Итого</b>	<b>5 825 457</b>

Таблица 5.4 – Агрегированный локально-сметный расчет на строительство дома со стандартным энергопотреблением в северной части Красноярского края

Наименование работ	Стоимость, руб.
Устройство деревянного каркаса с фундаментом, наружной обшивкой, заполнением дверных и оконных проемов	4 196 287
Утепление каркаса с применением экструдированного пенополистирола	
Устройство отопительного котла на твердотельном топливе	
Подключение холодного и горячего водоснабжения	145 000
Подключение электроснабжения	122 000
Устройство канализации	139 000
<b>Итого</b>	<b>4 602 287</b>

На основании вышеприведенных таблиц можно сделать вывод о том, что как в северной, так и в южной частях Красноярского края на этапе строительства «Пассивный» дом потребует больших капиталовложений и затрат в сравнении с домом со стандартным энергопотреблением.

Так, в южной части Красноярского края затраты на строительство «пассивного» дома будут на 39% (или на 1 256 тыс. руб.) выше, чем на дом со стандартным энергопотреблением, а в северной части эти затраты будут на 26,5% (или на 1 223 тыс. руб.) выше соответственно.

Для определения экономической целесообразности строительства «пассивного» дома в Красноярском крае необходимо рассчитать затраты на эксплуатацию, а также период окупаемости в сравнении с домом со стандартным энергопотреблением.

## 5.2 Затраты на эксплуатацию

Затраты на эксплуатацию «пассивного» дома и дома со стандартным энергопотреблением как для южной, так и для северной частей Красноярского края представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Сравнительная таблица эксплуатационных затрат пассивного дома и дома со стандартным энергопотреблением

Вид затрат	«Пассивный» дом	Дом со стандартным энергопотреблением
Ремонт и обслуживание теплового насоса (5% от стоимости в южной части, 8% - в северной части)	+	-
Коммунальные платежи за водоотведение	+	+
Коммунальные платежи за холодное водоснабжение	+	+
Коммунальные платежи за горячее водоснабжение	-	+
Затраты на электроэнергию	+	+
Твердое топливо для печи	-	+

В основе расчета затрат на эксплуатацию зданий заложены тарифы на жилищно-коммунальные услуги в г. Красноярск (южная часть) и в г. Дудинка (северная часть). Кроме этого, в расчетах необходимо использовать коэффициент инфляции, который показывает изменение цены текущего года относительно заданного. Так, согласно документу «Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2036 года», опубликованного Министерством экономического развития РФ, инфляция по итогам 2021 года составит 3,4%. В дальнейшем по мере реакции на реализуемую денежно-кредитную политику ожидается возвращение инфляции к целевому уровню 4% в 2022-2036 годах. Следовательно, при расчете на более долгий срок требуется взять усредненный показатель инфляции 4%.

Общие затраты на строительство и эксплуатацию «пассивного» дома и дома со стандартным энергопотреблением в южной части на период до 2048 года представлены в таблицах 5.6-5.7.

Таблица 5.6 – Общие затраты на строительство и эксплуатацию в южной части Красноярского края с 2021 по 2034 г.

<b>«Пассивный» дом</b>														
Показатель	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Стоимость ограждающей конструкции, руб	4 467 297													
Ремонт и обслуживание теплового насоса (5% от стоимости)	29 000	29 000	29 000	29 000	29 000	29 000	29 000	29 000	29 000	29 000	29 000	29 000	29 000	29 000
Коммунальные платежи за водоотведение, руб	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160
Коммунальные платежи за холодное водоснабжение, руб	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192
Затраты на электроэнергию, руб	12 437	12 437	12 437	12 437	12 437	12 437	12 437	12 437	12 437	12 437	12 437	12 437	12 437	12 437
Уровень инфляции	1,03	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
<b>Суммарные затраты, руб.</b>	<b>4527085</b>	<b>4589265</b>	<b>4651444</b>	<b>4713624</b>	<b>4775803</b>	<b>4837983</b>	<b>4900162</b>	<b>4962342</b>	<b>5024522</b>	<b>5086701</b>	<b>5148881</b>	<b>5211060</b>	<b>5273240</b>	<b>5335419</b>
<b>Дом стандартного энергопотребления</b>														
Показатель	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Стоимость ограждающей конструкции, руб	3 211 056													
Коммунальные платежи за водоотведение, руб	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160
Коммунальные платежи за холодное водоснабжение, руб	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192
Коммунальные платежи за горячее водоснабжение, руб	18 651	18 651	18 651	18 651	18 651	18 651	18 651	18 651	18 651	18 651	18 651	18 651	18 651	18 651
Коммунальные платежи на электроэнергию, руб	7 200	7 200	7 200	7 200	7 200	7 200	7 200	7 200	7 200	7 200	7 200	7 200	7 200	7 200
Твердое топливо для печи, руб	77 724	77 724	77 724	77 724	77 724	77 724	77 724	77 724	77 724	77 724	77 724	77 724	77 724	77 724
Уровень инфляции	1,03	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
<b>Суммарные затраты, руб.</b>	<b>3332982</b>	<b>3452339</b>	<b>3571697</b>	<b>3691054</b>	<b>3810411</b>	<b>3929768</b>	<b>4049126</b>	<b>4168483</b>	<b>4287840</b>	<b>4407197</b>	<b>4526555</b>	<b>4645912</b>	<b>4765269</b>	<b>4884627</b>

Таблица 5.7 – Общие затраты на строительство и эксплуатацию в южной части Красноярского края с 2035 по 2048 г.

<b>«Пассивный» дом</b>														
Показатель	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
Стоимость ограждающей конструкции, руб	4 467 297													
Ремонт и обслуживание теплового насоса (5% от стоимости)	29 000	29 000	29 000	29 000	29 000	29 000	29 000	29 000	29 000	29 000	29 000	29 000	29 000	29 000
Коммунальные платежи за водоотведение, руб	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160
Коммунальные платежи за холодное водоснабжение, руб	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192
Затраты на электроэнергию, руб	12 437	12 437	12 437	12 437	12 437	12 437	12 437	12 437	12 437	12 437	12 437	12 437	12 437	12 437
Уровень инфляции	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
<b>Суммарные затраты, руб.</b>	<b>5397599</b>	<b>5459778</b>	<b>5521958</b>	<b>5584138</b>	<b>5646317</b>	<b>5708497</b>	<b>5770676</b>	<b>5832856</b>	<b>5895035</b>	<b>5957215</b>	<b>6019395</b>	<b>6081574</b>	<b>6143754</b>	<b>6205933</b>
<b>Дом стандартного энергопотребления</b>														
Показатель	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
Стоимость ограждающей конструкции, руб	3 211 056													
Коммунальные платежи за водоотведение, руб	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160	7 160
Коммунальные платежи за холодное водоснабжение, руб	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192	11 192
Коммунальные платежи за горячее водоснабжение, руб	18 651	18 651	18 651	18 651	18 651	18 651	18 651	18 651	18 651	18 651	18 651	18 651	18 651	18 651
Коммунальные платежи на электроэнергию, руб	7 200	7 200	7 200	7 200	7 200	7 200	7 200	7 200	7 200	7 200	7 200	7 200	7 200	7 200
Твердое топливо для печи, руб	77 724	77 724	77 724	77 724	77 724	77 724	77 724	77 724	77 724	77 724	77 724	77 724	77 724	77 724
Уровень инфляции	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
<b>Суммарные затраты, руб.</b>	<b>5003984</b>	<b>5123341</b>	<b>5242698</b>	<b>5362056</b>	<b>5481413</b>	<b>5600770</b>	<b>5720127</b>	<b>5839485</b>	<b>5958842</b>	<b>6078199</b>	<b>6197556</b>	<b>6316914</b>	<b>6436271</b>	<b>6555628</b>

Для более наглядного представления данных, представленных в таблицах, необходимо использовать график (рисунок 5.1).

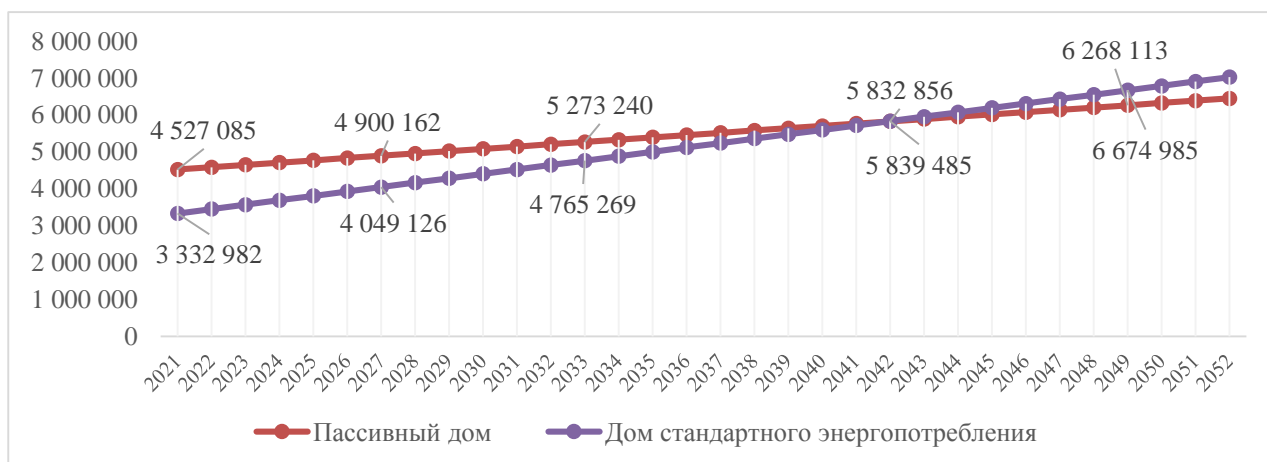


Рисунок 5.1 – Суммарные затраты на строительство и эксплуатацию зданий в южной части Красноярского края

Таким образом, в 2021 году затраты на строительство и эксплуатацию дома со стандартным энергопотреблением в южной части Красноярского края составляют 3,3 млрд. руб., в то время как затраты на пассивный дом – 4,5 млн. руб. Однако к 2042 году пассивный дом окупит затраты и станет экономически целесообразнее, чем дом со стандартным энергопотреблением, так как суммарные затраты будут ниже на 6,6 тысяч рублей, а в перспективе, к 2048 году, разница между суммарными затратами вырастет до 350 тысячи рублей.

Далее необходимо оценить общие затраты на строительство и эксплуатацию «пассивного» дома и дома со стандартным энергопотреблением в северной части Красноярского края на период до 2048 года. Результаты представлены в таблицах 5.8-5.10.

Таблица 5.8 – Общие затраты на строительство и эксплуатацию в северной части Красноярского края с 2021 по 2034 г.

<b>«Пассивный» дом</b>														
Показатель	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Стоимость ограждающей конструкции, руб	5 825 457													
Ремонт и обслуживание теплового насоса (8% от стоимости), руб.	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400
Коммунальные платежи за водоотведение, руб	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555
Коммунальные платежи за холодное водоснабжение, руб	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199
Затраты на электроэнергию, руб	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496
Уровень инфляции	1,03	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,03	1,04	1,04
<b>Суммарные затраты, руб.</b>	<b>5995705</b>	<b>6166941</b>	<b>6338176</b>	<b>6509412</b>	<b>6680648</b>	<b>6851884</b>	<b>7023120</b>	<b>7194355</b>	<b>7365591</b>	<b>7536827</b>	<b>7708063</b>	<b>5995705</b>	<b>6166941</b>	<b>6338176</b>
<b>Дом стандартного энергопотребления</b>														
Показатель	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Стоимость ограждающей конструкции, руб	4 602 287													
Коммунальные платежи за водоотведение, руб	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555
Коммунальные платежи за холодное водоснабжение, руб	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199
Коммунальные платежи за горячее водоснабжение, руб	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960
Коммунальные платежи на электроэнергию, руб	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580
Твердое топливо для печи, руб	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760
Уровень инфляции	1,03	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
<b>Суммарные затраты, руб.</b>	<b>4827342</b>	<b>5037941</b>	<b>5248541</b>	<b>5459141</b>	<b>5669740</b>	<b>5880340</b>	<b>6090939</b>	<b>6301539</b>	<b>6512138</b>	<b>6722738</b>	<b>6933338</b>	<b>7143937</b>	<b>7354537</b>	<b>7565136</b>

Таблица 5.9 – Общие затраты на строительство и эксплуатацию в северной части Красноярского края с 2035 по 2048 г.

<b>«Пассивный» дом</b>														
Показатель	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
Стоимость ограждающей конструкции, руб.	5 825 457													
Ремонт и обслуживание теплового насоса (8% от стоимости), руб.	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400
Коммунальные платежи за водоотведение, руб.	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555
Коммунальные платежи за холодное водоснабжение, руб.	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199
Затраты на электроэнергию, руб.	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496
Уровень инфляции	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
<b>Суммарные затраты, руб.</b>	<b>8393006</b>	<b>8564241</b>	<b>8735477</b>	<b>8906713</b>	<b>9077949</b>	<b>9249185</b>	<b>9420420</b>	<b>9591656</b>	<b>9762892</b>	<b>9934128</b>	<b>10105363</b>	<b>10276599</b>	<b>10447835</b>	<b>10619071</b>
<b>Дом стандартного энергопотребления</b>														
Показатель	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
Стоимость ограждающей конструкции, руб.	4 602 287													
Коммунальные платежи за водоотведение, руб.	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555
Коммунальные платежи за холодное водоснабжение, руб.	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199
Коммунальные платежи за горячее водоснабжение, руб.	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960
Коммунальные платежи на электроэнергию, руб.	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580
Твердое топливо для печи, руб.	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760
Уровень инфляции	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
<b>Суммарные затраты, руб.</b>	<b>7775736</b>	<b>7986335</b>	<b>8196935</b>	<b>8407535</b>	<b>8618134</b>	<b>8828734</b>	<b>9039333</b>	<b>9249933</b>	<b>9460533</b>	<b>9671132</b>	<b>9881732</b>	<b>10092331</b>	<b>10302931</b>	<b>10513530</b>

Таблица 5.10 – Общие затраты на строительство и эксплуатацию в северной части Красноярского края с 2049 по 2057 г.

<b>«Пассивный» дом</b>									
Показатель	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057
Стоимость ограждающей конструкции, руб.	5 825 457								
Ремонт и обслуживание теплового насоса (8% от стоимости), руб.	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400	46 400
Коммунальные платежи за водоотведение, руб.	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555
Коммунальные платежи за холодное водоснабжение, руб.	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199
Затраты на электроэнергию, руб.	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496	64 496
Уровень инфляции	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
<b>Суммарные затраты, руб.</b>	<b>10 790 306</b>	<b>10 961 542</b>	<b>11 132 778</b>	<b>11 304 014</b>	<b>11 475 250</b>	<b>11 646 485</b>	<b>11 817 721</b>	<b>11 988 957</b>	<b>12 160 193</b>
<b>Дом стандартного энергопотребления</b>									
Показатель	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057
Стоимость ограждающей конструкции, руб.	4 602 287								
Коммунальные платежи за водоотведение, руб.	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555	22 555
Коммунальные платежи за холодное водоснабжение, руб.	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199	31 199
Коммунальные платежи за горячее водоснабжение, руб.	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960	38 960
Коммунальные платежи на электроэнергию, руб.	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580	20 580
Твердое топливо для печи, руб.	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760	111 760
Уровень инфляции	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
<b>Суммарные затраты, руб.</b>	<b>10 724 130</b>	<b>10 934 730</b>	<b>11 145 329</b>	<b>11 355 929</b>	<b>11 566 528</b>	<b>11 777 128</b>	<b>11 987 727</b>	<b>12 198 327</b>	<b>12 408 927</b>



Используя данные таблиц 5.8-5.10 был составлен график окупаемости пассивного дома в сравнении с домом стандартного энергопотребления на период до 2057 года (рисунок 5.2).

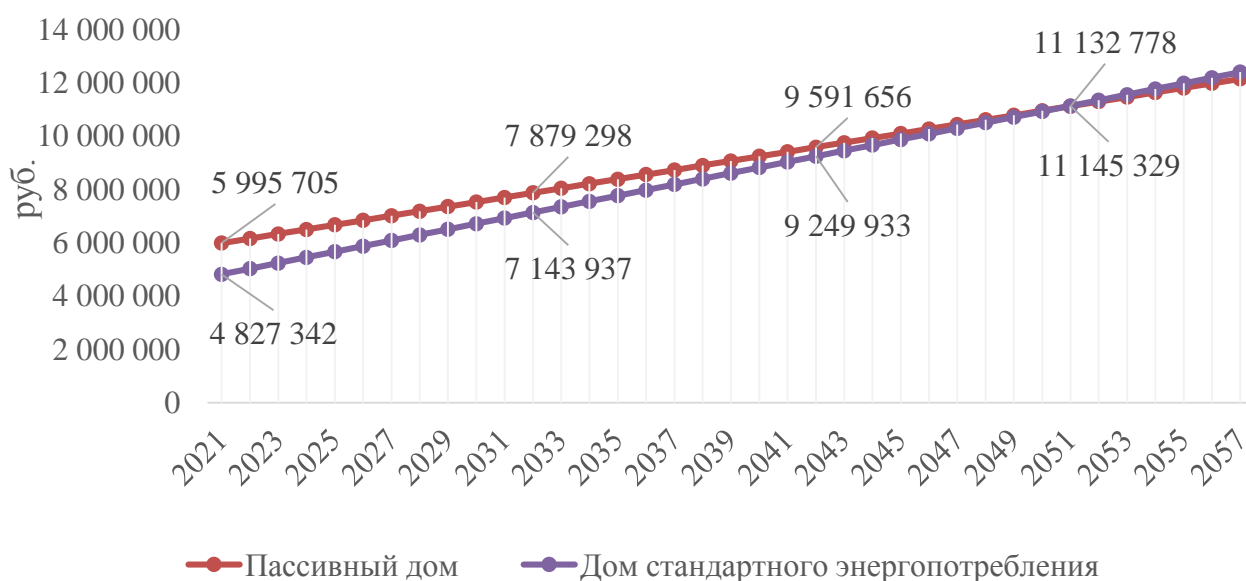


Рисунок 5.2 – Суммарные затраты на строительство и эксплуатацию зданий в северной части Красноярского края

Таким образом, в 2021 году затраты на строительство и эксплуатацию дома со стандартным энергопотреблением в северной части Красноярского края составляют 4,8 млн. руб., в то время как затраты на пассивный дом – почти 6 млн. руб. Однако к 2051 году пассивный дом окупит затраты и станет экономически целесообразнее, чем дом со стандартным энергопотреблением, так как суммарные затраты будут ниже на 12,5 тысяч рублей, а в перспективе, к 2057 году, разница между суммарными затратами вырастет до 250 тысячи рублей.

Подводя итог, можно сделать вывод, что строительство пассивного дома как в южной, так и в северной части Красноярского края возможно, а в перспективе, совокупные затраты на строительство и эксплуатацию окупят все первоначальные капиталовложения.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На основе анализа были определены основные рациональные проектные решения пассивного домостроения для условий Красноярского края;

Осуществлен анализ результатов, полученных во время проведения численного эксперимента, по результатам которых для южной части Красноярского края удалось достичь показателей дома пассивного энергопотребления;

Разработаны рекомендации по конструктивным и инженерным решениям на основе анализа технико-экономической оценки. Для достижения необходимых показателей энергоэффективности, следует использовать дополнительный слой утепления поверх каркаса здания, а также в качестве инженерных систем осуществить устройство геотермального теплового насоса и приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией роторного типа.

Данный вид строительства может быть востребован в обеих частях Красноярского края. С учетом срока службы оборудования – 30 лет, применяемые технологии позволят добиться снижения вредных выбросов при равных затратах для Северной части Красноярского края. Для южной части Красноярского края данные технологии помимо уменьшения количества выбросов, дополнительно могут обеспечить экономию затрат на отопление в перспективе, т. к. срок окупаемости изначальных вложений составит 20 лет.

## Список использованных источников

- 1 СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.
- 2 СП 131.13330.2018. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99\*.
- 3 ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
- 4 СП 345.1325800.2017 Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты.
- 5 Вилкова А. С., Петулько К. А. Энергоэффективные технологии в строительстве // Молодой ученый. — 2016. — №8. — С. 1268-1271.
- 6 Файст, В. Основные положения по проектированию пассивных домов: учебное пособие/ В.Файст.- М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008.- 68с.
- 7 Береговой А.М. Энергоэкономичные и энергоактивные здания. Учеб. пособие 2-е издание. — М.: Изд-во АСВ, 1999. — 160 с.
- 8 А.В. Бушов Объемно-планировочное решение и его влияние на энергоэффективность и микроклимат помещения // Строительные науки. — 209. — №5. — С. 430-432.
- 9 С.И. Овсянников, А.С. Родионов Обоснование эффективных строений для Крайнего Севера // Вестник науки и образования Северо-Запада России. — 2017. - №1. — С. 1-7.
- 10 Студенческая библиотека онлайн: сайт. Москва, 2013. URL: [https://studbooks.net/1996179/matematika\\_himiya\\_fizika/istoriya\\_razvitiya](https://studbooks.net/1996179/matematika_himiya_fizika/istoriya_razvitiya).
- 11 Пассивные дома. Энергоэффективные коттеджи. Строительство. Инжиниринг: сайт. Москва, 2012. URL: <https://www.effdom.ru/coldclimates>.
- 12 А.М. Абитов, М.А. Атаев «Пассивный дом» - что это такое // Символ науки. — 2016. - №3. — С. 23-25.
- 13 В.В. Брызгалин, А.К. Соловьев Использование пассивных систем солнечного отопления как элемента пассивного дома // Вестник МГСУ. — 2018. - №4. — С. 472-481.
- 14 Комсомольская правда: сайт. Москва, 2012. URL: <https://www.kp.ru/guide/teplovye-nasosy.html>.
- 15 Инженерные системы: сайт. Москва, 2009. URL: <http://engineeringsystems.ru/teplogeneriruyuschiye-ustanovki/principialniye-shemi-proizvodstva.php>.
- 16 Altal group: сайт. Ростов-на-Дону, 2017. URL: <http://www.altalgroup.ru/informatsiya/gruntovye-teploobmenniki-dlya-geotermalno-go-teplovogo-nasosa>.
- 17 Смарт Системы: сайт. Москва, 2007. URL: [http://asupro.com/alter-native/heat-pump/ground-heat-exchanger-geothermal-pump.html?utm\\_source=www.google.com](http://asupro.com/alter-native/heat-pump/ground-heat-exchanger-geothermal-pump.html?utm_source=www.google.com).

- 18 Долгоруковский завод быстровозводимого жилья: сайт. Долгоруково, 2007. URL: [https://www.dzbg.ru/production/regionalnye\\_problemy\\_energoeffektivnosti\\_krajnij\\_sever\\_i\\_dalnij\\_vostok\\_rossii](https://www.dzbg.ru/production/regionalnye_problemy_energoeffektivnosti_krajnij_sever_i_dalnij_vostok_rossii).
- 19 Строительный эксперт: сайт. Москва, 2017. URL: <https://ardexpert.ru/article/6153>.
- 20 Prom-Nadzor: сайт. Москва, 2013. URL: <http://prom-nadzor.ru/content/krajniy-sever-i-dalniy-vostok-rossii-problemy-energoeffektivnosti>.
- 21 ICS Группа компаний: сайт. Санкт-Петербург, 1994. URL: <https://www.icsgroup.ru/library/publications/detail.php?ID=727>.
- 22 Germostroy: сайт. Москва, 2006. URL: [http://www.germostroy.ru/art\\_673.php](http://www.germostroy.ru/art_673.php).
- 23 Allbest: сайт. Москва, 2000. URL: [https://knowledge.allbest.ru/physics/2c0b65635b3bd79a4d53b88521206d37\\_0.html](https://knowledge.allbest.ru/physics/2c0b65635b3bd79a4d53b88521206d37_0.html).
- 27 Мир климата: сайт. Москва, 2017. URL: <https://climatexpo.ru/marketing/pumps-air-water-2017/>.
- 28 Инвест строй: сайт. Москва, 2003. URL: <https://www.airclimat.ru/Ventilyatsii-s-rekuperatsiey-tepla.htm>.
- 29 Пассивные дома Энергоэффективные коттеджи Строительство Инжиниринг: сайт. Москва, 2012. URL: <https://www.effdom.ru/passivehousearticles>.
- 30 НПИ: сайт. Санкт-Петербург, 1991. URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=5551](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5551).
- 31 Solar soul: сайт. Воронеж, 2011. URL: <http://solarsoul.net/teploizolyaciya-primenyaemaya-v-stroitelstve-passivnogo-doma>.
- 32 freepatent: сайт. Санкт-Петербург, 2008. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2165504>.
- 33 Ecoteco: сайт. Москва, 2006. URL: <https://ecoteco.ru/library/magazine/zhurnal-12/tehnologii/1401-passivnyy-dom/ponyatie-passivnogo-doma>.
- 34 Портал-энерго: сайт. Москва, 2009. URL: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/49>.
- 35 Строительный эксперт: сайт. Москва, 2017. URL: <https://ardexpert.ru/article/6153>.
- 36 Prom-Nadzor: сайт. Москва, 2013. URL: <http://prom-nadzor.ru/content/krajniy-sever-i-dalniy-vostok-rossii-problemy-energoeffektivnosti>.

## **Приложение 1**

### **Локальные сметные расчеты**

Локально-сметный расчет №1 на строительство «Пассивного» дома в южной части Красноярского края

№ пп	Обоснование	Наименование	Ед. изм.	Кол.	Стоимость единицы, руб.			Общая стоимость, руб.				
					Всего	В том числе		Всего	В том числе			
						Осн.З/п	Эк.Ма ш.		З/пМех	Осн.З/п	Эк.Ма ш.	З/пМех
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 1. Фундамент												
1	ТЕР05-01-029-01 <i>Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Устройство железобетонных буронабивных свай с бурением скважин вращательным (шнековым) способом в грунтах 1 группы диаметром до 600 мм, длина свай до 12 м	1 м3 конструктивного объема свай	40	1216,66	29,58	166,02	12,08	48666	1183	6641	483
Итого по разделу 1 Фундамент									357413			
Раздел 2. Стены												
2	ТЕР10-01-011-02 <i>Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Устройство стен каркасно-плитных с заполнением каркаса утеплителем из стекловаты 6 554,37 = 13 240,94 - 9,79 x 683,00	100 м2 стен (за вычетом проемов)	2,407 240,7 / 100	6554,37	1403,0 4	350,35	12,93	15776	3377	843	31
Уд	1. 101-0773	Плиты фибролитовые на портландцементе марки 300, толщиной 50 мм	м3	9,79 23,56	683				16091,48			
3	Прайс Леруа Мерлен	Экструдированный пенополистирол Thermit, 1 м3.=7029р./1,2/5,2=1126,44 р	м3	96,28 240,7* 0,4	1126,44				108454			
4	ТЕР26-01-055-01 <i>Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка пароизоляционного слоя из пленки полиэтиленовой	100 м2 поверхность и покрытия изоляции	2,407 240,7 / 100	8266,33	965,16	37,03		19897	2323	89	
Итого по разделу 2 Стены									1022908			

Продолжение ЛСР №1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 3. Перекрытия												
5	ТЕР10-01-021-09 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Устройство перекрытий с укладкой балок по стенам нерубленным с накатом из щитов	100 м2 перекрытий	2,6508 (88.36*3) / 100	15863,9 4	934,68	760,88	47,85	42052	2478	2017	127
6	Прайс Леруа Мерлен	Экструдированный пенополистирол Thermit, 1 м3.=7029р./1,2/5,2=1126,44 р	м3	83,942 88.36*2*0 .35+88.36 *0.25	1126,44				94556			
7	ТЕР11-01-035-04 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Устройство покрытий из плит древесностружечных	100 м2 покрытия	1,7672 (88.36*2) / 100	2866,96	475,05	143,01	8,62	5066	840	253	15
Итого по разделу 3 Перекрытия									911165			
Раздел 4. Крыша												
8	ТЕР10-01-002-01 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка стропил	1 м3 древесины в конструкци и	2,4	2330,77	230,3	57,31	2,23	5594	553	138	5
9	ТЕР12-01-001-05 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Устройство кровель скатных из наплавливаемых материалов в два слоя	100 м2 кровли	1,23704 (88.36*1. 4) / 100	8798,14	170,2	61,71	2,97	10884	211	76	4
Итого по разделу 4 Крыша									123563			
Раздел 5. Окна												
10	ТЕР10-01-027-10 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка в жилых и общественных зданиях блоков оконных с переплетами спаренными в стенах деревянных нерубленных площадью проема более 2 м2	100 м2 проемов	0,225 (1.5*1.5* 10) / 100	55013,1 8	1494,9 5	616,53		12378	336	139	
Итого по разделу 5 Окна									80875			

Продолжение ЛСР №1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 6. Двери												
11	ТЕР10-04-013-02 <i>Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка металлических дверных коробок с навеской дверных полотен	100 м2 проемов	0,0189 <i>(0,9*2,1)/100</i>	28691,19	1851,47	528,51	21,99	542	35	10	
Итого по разделу 6 Двери									4526			
Раздел 7. Санитарно-технические приборы												
12	ТЕР16-04-001-01 <i>Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Прокладка трубопроводов канализации из полиэтиленовых труб высокой плотности диаметром 50 мм	100 м трубопро вода	0,4 <i>40 / 100</i>	4773,75	732,34	18,82	0,3	1910	293	8	
13	ТЕР16-04-002-05 <i>Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Прокладка трубопроводов водоснабжения из напорных полиэтиленовых труб низкого давления среднего типа наружным диаметром 50 мм	100 м трубопро вода	0,65 <i>65 / 100</i>	4950,44	1613,33	1499,48	200,02	3218	1049	975	130
14	ТЕР20-06-015-02 <i>Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка приточно-вытяжной вентиляции	1 агрегат	1	363,12	180,99	95,15	3,42	363	181	95	3
15	Прайс YanVent	Приточно-вытяжная установка Вентс ВУТ Р 700 ЭГ ЕС, 1 шт.=178000р./1,2/5,2=28 525,64 р	шт.	1	28525,64				28526			
16	ТЕР18-05-001-05 <i>Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка насосов центробежных с электродвигателем, масса агрегата до 0,75 т <i>1 273,50 = 12 922,34 - 1 x 11 648,84</i>	1 насос	1	1273,5	360,88	118,98	4,01	1274	361	119	4
Уд	1. 301-1498	<i>Насосы центробежные 90/85 с электродвигателем А2-81-2 массой агрегата до 0,75 т</i>	компл.	1 1	11648,84				11648,84			
17	Прайс ХолодОк	Тепловой насос геотермальный TERMEX Energy PRO 24, 1 шт.=568 800р./1,2/5,2=91 153,85 р	шт.	1	91153,85				91154			
Итого по разделу 7 Санитарно-технические приборы									768136			



## Окончание ЛСР №1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
ИТОГИ ПО СМЕТЕ:													
Итого прямые затраты по смете в базисных ценах										490310	13220	11403	802
Итого прямые затраты по смете с учетом индексов, в текущих ценах (Индексы на 3 квартал 2020г. Общеотраслевое строительство ОЗП=21,32; ЭМ-ЗПМ=7,69; ЗПМ=21,32; МАТ=5,2)										2802043	281851	98620	17099
Накладные расходы										300309			
Сметная прибыль										166229			
Итого по смете:													
Свайные работы										357413			
Деревянные конструкции										738318			
Прочие ремонтно-строительные работы										1677988			
Теплоизоляционные работы										210964			
Полы										70796			
Кровли										67302			
Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)										145800			
Итого										3268581			
В том числе:													
Материалы										2421572			
Машины и механизмы										98620			
ФОТ										298950			
Накладные расходы										300309			
Сметная прибыль										166229			
НДС 20%										653716,2			
ВСЕГО по смете										3922297			

Локально-сметный расчет №2 на строительство дома со стандартным энергопотреблением в южной части Красноярского края

№ пп	Обоснование	Наименование	Ед. изм.	Кол.	Стоимость единицы, руб.			Общая стоимость, руб.				
					Всего	В том числе		Всего	В том числе			
						Осн.З/п	Эк.Ма ш.		З/пМе х	Осн.З/п	Эк.Ма ш.	З/пМе х
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 1. Фундамент												
1	ТЕР05-01-029-01 Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О	Устройство железобетонных буронабивных свай с бурением скважин вращательным (шнековым) способом в грунтах 1 группы диаметром до 600 мм, длина свай до 12 м	1 м3 конструктивного объема свай	40	1216,66	29,58	166,02	12,08	48666	1183	6641	483
Итого по разделу 1 Фундамент									357413			
Раздел 2. Стены												
2	ТЕР10-01-011-02 Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О	Устройство стен каркасно-плитных с заполнением каркаса утеплителем из стекловаты 6 554,37 = 13 240,94 - 9,79 x 683,00	100 м2 стен (за вычетом проемов)	2,407 240,7 / 100	6554,37	1403,04	350,35	12,93	15776	3377	843	31
Уд	1. 101-0773	Плиты фибролитовые на портландцементе марки 300, толщиной 50 мм	м3	9,79 23,56	683				16091,48			
3	Прайс Леруа Мерлен	Экструдированный пенополистирол Thermit, 1 м3.=7029р./1,2/5,2=1126,44 р	м3	48,14 240,7*0, 2	1126,44				54227			
4	ТЕР26-01-055-01 Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О	Установка пароизоляционного слоя из пленки полиэтиленовой	100 м2 поверхность и покрытия изоляции	2,407 240,7 / 100	8266,33	965,16	37,03		19897	2323	89	
Итого по разделу 2 Стены									740927			

Продолжение ЛСР №2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 3. Перекрытия												
5	ТЕР10-01-021-09 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Устройство перекрытий с укладкой балок по стенам нерубленным с накатом из щитов	100 м2 перекрытий	2,6508 (88.36*3 )/ 100	15863,94	934,68	760,88	47,85	42052	2478	2017	127
6	Прайс Леруа Мерлен	Экструдированный пенополистирол Thermit, 1 м3.=7029р./1,2/5,2=1126,44 р	м3	66,27 88.36*2* 0.25+88. 36*0.25	1126,44				74649			
7	ТЕР11-01-035-04 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Устройство покрытий из плит древесностружечных	100 м2 покрытия	1,7672 (88.36*2 )/ 100	2866,96	475,05	143,01	8,62	5066	840	253	15
Итого по разделу 3 Перекрытия									807649			
Раздел 4. Крыша												
8	ТЕР10-01-002-01 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка стропил	1 м3 древесины в конструкци и	2,4	2330,77	230,3	57,31	2,23	5594	553	138	5
9	ТЕР12-01-001-05 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Устройство кровель скатных из наплавливаемых материалов в два слоя	100 м2 кровли	1,23704 (88.36*1. 4) / 100	8798,14	170,2	61,71	2,97	10884	211	76	4
Итого по разделу 4 Крыша									123563			
Раздел 5. Окна												
10	ТЕР10-01-027-10 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка в жилых и общественных зданиях блоков оконных с переплетами спаренными в стенах деревянных нерубленных площадью проема более 2 м2	100 м2 проемов	0,225 (1.5*1.5* 10) / 100	55013,18	1494,9 5	616,53		12378	336	139	
Итого по разделу 5 Окна									80875			

Продолжение ЛСР №2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 6. Двери												
11	ТЕР10-04-013-02 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка металлических дверных коробок с навеской дверных полотен	100 м2 проемов	0,0189 <i>(0,9*2,1) / 100</i>	28691,19	1851,47	528,51	21,99	542	35	10	
Итого по разделу 6 Двери									4526			
Раздел 7. Санитарно-технические приборы												
12	ТЕР16-04-001-01 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Прокладка трубопроводов канализации из полиэтиленовых труб высокой плотности диаметром 50 мм	100 м трубопровода	0,4 <i>40 / 100</i>	4773,75	732,34	18,82	0,3	1910	293	8	
13	ТЕР16-04-002-05 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Прокладка трубопроводов водоснабжения из напорных полиэтиленовых труб низкого давления среднего типа наружным диаметром 50 мм	100 м трубопровода	0,65 <i>65 / 100</i>	4950,44	1613,33	1499,48	200,02	3218	1049	975	130
14	ТЕР18-01-001-07 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка котлов отопительных чугунных секционных на твердом топливе паровых теплопроизводительностью более 0,06 МВт (0,05 Гкал/ч), количество секций до 18	1 котел	1	19782,46	1085,13	434,36	8,77	19782	1085	434	9
15	ТЕР20-06-015-02 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка агрегатов вентиляторных производительностью до 20 тыс.м3/час	1 агрегат	1	363,12	180,99	95,15	3,42	363	181	95	3
Итого по разделу 7 Санитарно-технические приборы									281765			

## Окончание ЛСР №2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ИТОГИ ПО СМЕТЕ:												
Итого прямые затраты по смете в базисных ценах									315004	13944	11718	807
Итого прямые затраты по смете с учетом индексов, в текущих ценах (Индексы на 3 квартал 2020г. Общеотраслевое строительство ОЗП=21,32; ЭМ-ЗПМ=7,69; ЗПМ=21,32; МАТ=5,2)									1902976	297287	101111	17205
Накладные расходы									317250			
Сметная прибыль									176487			
Итого по смете:												
Свайные работы									357413			
Деревянные конструкции									738318			
Прочие ремонтно-строительные работы									670155			
Теплоизоляционные работы									210964			
Полы									70796			
Кровли									67302			
Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)									281765			
Итого									2396713			
В том числе:												
Материалы									1504578			
Машины и механизмы									101111			
ФОТ									314492			
Накладные расходы									317250			
Сметная прибыль									176487			
НДС 20%									479342,6			
ВСЕГО по смете									2876056			

Локально-сметный расчет №3 на строительство «Пассивного» дома в северной части Красноярского края

№ п п	Обоснование	Наименование	Ед. изм.	Кол.	Стоимость единицы, руб.				Общая стоимость, руб.			
					Всего	В том числе			Всего	В том числе		
						Осн.3 /п	Эк.Ма ш.	З/пМех		Осн.3/ п	Эк.М аш.	З/п Мех
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 1. Фундамент												
1	ТЕР05-01-029-01 Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О	Устройство железобетонных буронабивных свай с бурением скважин вращательным (шнековым) способом в грунтах 1 группы диаметром до 600 мм, длина свай до 12 м	1 м3 конструктивного объема свай	40	1216,66	29,58	166,02	12,08	48666	1183	6641	483
Итого по разделу 1 Фундамент									492876			
Раздел 2. Стены												
2	ТЕР10-01-011-02 Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О	Устройство стен каркасно-плитных с заполнением каркаса утеплителем из стекловаты $6\ 554,37 = 13\ 240,94 - 9,79 \times 683,00$	100 м2 стен (за вычетом проемов)	2,407 240,7 / 100	6554,37	1403,04	350,35	12,93	15776	3377	843	31
Уд	1. 101-0773	Плиты фибролитовые на портландцементе марки 300, толщиной 50 мм	м3	9,79 23,56	683				16091,48			
3	Прайс Леруа Мерлен	Экструдированный пенополистирол Thermit, 1 м3.=7029р./1,2/4,66=1256,97 р	м3	96,28 240,7* 0,4	1256,97				121021			
4	ТЕР26-01-055-01 Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О	Установка пароизоляционного слоя из пленки полиэтиленовой	100 м2 поверхности покрытия изоляции	2,407 240,7 / 100	8266,33	965,16	37,03		19897	2323	89	
Итого по разделу 2 Стены									1440032			

Продолжение ЛСР №3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 3. Перекрытия												
5	ТЕР10-01-021-09 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Устройство перекрытий с укладкой балок по стенам нерубленным с накатом из щитов	100 м2 перекрыт ий	2,6508 (88.36*3) / 100	15863 ,94	934,6 8	760,88	47,85	42052	2478	2017	127
6	Прайс Леруа Мерлен	Экструдированный пенополистирол Thermit, 1 м3.=7029р./1,2/4,66=1256,97 р	м3	83,942 88.36*2*0.35 +88.36*0.25	1256, 97				105513			
7	ТЕР11-01-035-04 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Устройство покрытий из плит древесностружечных	100 м2 покрыт я	1,7672 (88.36*2) / 100	2866, 96	475,0 5	143,01	8,62	5066	840	253	15
Итого по разделу 3 Перекрытия									1162406			
Раздел 4. Крыша												
8	ТЕР10-01-002-01 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка стропил	1 м3 древесин ы в конструк ции	2,4	2330, 77	230,3	57,31	2,23	5594	553	138	5
9	ТЕР12-01-001-05 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Устройство кровель скатных из наплавливаемых материалов в два слоя	100 м2 кровли	1,23704 (88.36*1.4) / 100	8798, 14	170,2	61,71	2,97	10884	211	76	4
Итого по разделу 4 Крыша									174934			
Раздел 5. Окна												
10	ТЕР10-01-027-10 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка в жилых и общественных зданиях блоков оконных с переплетами спаренными в стенах деревянных нерубленных площадью проема более 2 м2	100 м2 проемов	0,225 (1.5*1.5*10) / 100	55013 ,18	1494, 95	616,53		12378	336	139	
Итого по разделу 5 Окна									100444			

Продолжение ЛСР №3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 6. Двери												
11	ТЕР10-04-013-02 <i>Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка металлических дверных коробок с навеской дверных полотен	100 м2 проемов	0,0189 (0,9*2,1)/100	28691,19	1851,47	528,51	21,99	542	35	10	
Итого по разделу 6 Двери									6955			
Раздел 7. Санитарно-технические приборы												
12	ТЕР16-04-001-01 <i>Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Прокладка трубопроводов канализации из полиэтиленовых труб высокой плотности диаметром 50 мм	100 м трубопровода	0,440/100	4773,75	732,34	18,82	0,3	1910	293	8	
13	ТЕР16-04-002-05 <i>Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Прокладка трубопроводов водоснабжения из напорных полиэтиленовых труб низкого давления среднего типа наружным диаметром 50 мм	100 м трубопровода	0,6565/100	4950,44	1613,33	1499,48	200,02	3218	1049	975	130
14	ТЕР20-06-015-02 <i>Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка приточно-вытяжной вентиляции	1 агрегат	1	363,12	180,99	95,15	3,42	363	181	95	3
15	Прайс YanVent	Приточно-вытяжная установка Вентс ВУТ Р 700 ЭГ ЕС, 1 шт.=178000р./1,2/4,66=31831,19 р	шт.	1	31831,19				31831			
16	ТЕР18-05-001-05 <i>Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка насосов центробежных с электродвигателем, масса агрегата до 0,75 т <i>1 273,50 = 12 922,34 - 1 x 11 648,84</i>	1 насос	1	1273,5	360,88	118,98	4,01	1274	361	119	4
Уд	1. 301-1498	<i>Насосы центробежные 90/85 с электродвигателем А2-81-2 массой агрегата до 0,75 т</i>	компл.	1 1	11648,84				11648,84			
17	Прайс ХолодОк	Тепловой насос геотермальный TERMEX Energy PRO 24, 1 шт.=568800р./1,2/4,66=101716,74 р	шт.	1	101716,7				101717			
Итого по разделу 7 Санитарно-технические приборы									938571			



## Окончание ЛСР №3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ИТОГИ ПО СМЕТЕ:												
Итого прямые затраты по смете в базисных ценах									527702	13220	11403	802
Итого прямые затраты по смете с учетом индексов, в текущих ценах (Индексы на 3 квартал 2020г. Общепромышленное строительство ОЗП=51,79; ЭМ-ЗПМ=10,6; ЗПМ=51,79; МАТ=4,66)									3182917	684664	153905	41536
Накладные расходы									729502			
Сметная прибыль									403795			
Итого по смете:												
Свайные работы									492876			
Деревянные конструкции									1239944			
Прочие ремонтно-строительные работы									1677982			
Теплоизоляционные работы									372365			
Полы									138382			
Кровли									78428			
Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)									316237			
Итого									4316214			
В том числе:												
Материалы									2344348			
Машины и механизмы									153905			
ФОТ									726200			
Накладные расходы									729502			
Сметная прибыль									403795			
НДС 20%									863242,8			
ВСЕГО по смете									5179457			

Локально-сметный расчет №4 на строительство дома со стандартным энергопотреблением в северной части Красноярского края

№ пп	Обоснование	Наименование	Ед. изм.	Кол.	Стоимость единицы, руб.				Общая стоимость, руб.			
					Всего	В том числе			Всего	В том числе		
						Осн.З/п	Эк.Маш.	З/пМех		Осн.З/п	Эк.Ма ш.	З/пМех
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 1. Фундамент												
1	ТЕР05-01-029-01 <i>Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Устройство железобетонных буронабивных свай с бурением скважин вращательным (шнековым) способом в грунтах 1 группы диаметром до 600 мм, длина свай до 12 м	1 м3 конструктивного объема свай	40	1216,66	29,58	166,02	12,08	48666	1183	6641	483
Итого по разделу 1 Фундамент									492876			
Раздел 2. Стены												
2	ТЕР10-01-011-02 <i>Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Устройство стен каркасно-плитных с заполнением каркаса утеплителем из стекловаты $6\ 554,37 = 13\ 240,94 - 9,79 \times 683,00$	100 м2 стен (за вычетом проемов)	2,407 240,7 / 100	6554,37	1403,04	350,35	12,93	15776	3377	843	31
Уд	1. 101-0773	Плиты фибролитовые на портландцементе марки 300, толщиной 50 мм	м3	9,79 23,56	683				16091,48			
3	Прайс Леруа Мерлен	Экструдированный пенополистирол Thermit, 1 м3.=7029р./1,2/4,66=1256,97 р	м3	48,14 240,7 *0,2	1256,97				60511			
4	ТЕР26-01-055-01 <i>Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка пароизоляционного слоя из пленки полиэтиленовой	100 м2 поверхности покрытия изоляции	2,407 240,7 / 100	8266,33	965,16	37,03		19897	2323	89	
Итого по разделу 2 Стены									1158055			

Продолжение ЛСР №4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 3. Перекрытия												
5	ТЕР10-01-021-09 <i>Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Устройство перекрытий с укладкой балок по стенам нерубленным с накатом из щитов	100 м2 перекрытий	2,6508 (88.36*3)/100	15863,94	934,68	760,88	47,85	42052	2478	2017	127
6	Прайс Леруа Мерлен	Экструдированный пенополистирол Thermit, 1 м3.=7029р./1,2/4,66=1256,97 р	м3	66,27 88.36*2*0.25+88.36*0.25	1256,97				83299			
7	ТЕР11-01-035-04 <i>Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Устройство покрытий из плит древесностружечных	100 м2 покрытия	1,7672 (88.36*2)/100	2866,96	475,05	143,01	8,62	5066	840	253	15
Итого по разделу 3 Перекрытия									1058888			
Раздел 4. Крыша												
8	ТЕР10-01-002-01 <i>Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка стропил	1 м3 древесины в конструкции	2,4	2330,77	230,3	57,31	2,23	5594	553	138	5
9	ТЕР12-01-001-05 <i>Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Устройство кровель скатных из наплаваемых материалов в два слоя	100 м2 кровли	1,23704 (88.36*1.4)/100	8798,14	170,2	61,71	2,97	10884	211	76	4
Итого по разделу 4 Крыша									174934			
Раздел 5. Окна												
10	ТЕР10-01-027-10 <i>Пр.Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка в жилых и общественных зданиях блоков оконных с переплетами спаренными в стенах деревянных нерубленных площадью проема более 2 м2	100 м2 проемов	0,225 (1.5*1.5*10)/100	55013,18	1494,95	616,53		12378	336	139	
Итого по разделу 5 Окна									100444			


Продолжение ЛСР №4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 6. Двери												
11	ТЕР10-04-013-02 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка металлических дверных коробок с навеской дверных полотен	100 м2 проемов	0,0189 <i>(0,9*2,1) /100</i>	28691,19	1851,47	528,51	21,99	542	35	10	
Итого по разделу 6 Двери									6955			
Раздел 7. Санитарно-технические приборы												
12	ТЕР16-04-001-01 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Прокладка трубопроводов канализации из полиэтиленовых труб высокой плотности диаметром 50 мм	100 м трубопровода	0,4 <i>40 / 100</i>	4773,75	732,34	18,82	0,3	1910	293	8	
13	ТЕР16-04-002-05 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Прокладка трубопроводов водоснабжения из напорных полиэтиленовых труб низкого давления среднего типа наружным диаметром 50 мм	100 м трубопровода	0,65 <i>65 / 100</i>	4950,44	1613,33	1499,48	200,02	3218	1049	975	130
14	ТЕР18-01-001-07 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка котлов отопительных чугунных секционных на твердом топливе паровых теплопроизводительностью более 0,06 МВт (0,05 Гкал/ч), количество секций до 18	1 котел	1	19782,46	1085,13	434,36	8,77	19782	1085	434	9
15	ТЕР20-06-015-02 <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Установка агрегатов вентиляторных производительностью до 20 тыс.м3/час	1 агрегат	1	363,12	180,99	95,15	3,42	363	181	95	3
Итого по разделу 7 Санитарно-технические приборы									504756			

## Окончание ЛСР №4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
ИТОГИ ПО СМЕТЕ:													
Итого прямые затраты по смете в базисных ценах										329938	13944	11718	807
Итого прямые затраты по смете с учетом индексов, в текущих ценах (Индексы на 3 квартал 2020г. Общепромышленное строительство ОЗП=51,79; ЭМ-ЗПМ=10,6; ЗПМ=51,79; МАТ=4,66)										2297537	722160	157450	41795
Накладные расходы										770655			
Сметная прибыль										428714			
Итого по смете:													
Свайные работы										492876			
Деревянные конструкции										1239944			
Прочие ремонтно-строительные работы										670155			
Теплоизоляционные работы										372365			
Полы										138382			
Кровли										78428			
Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)										504756			
Итого										3496906			
В том числе:													
Материалы										1417927			
Машины и механизмы										157450			
ФОТ										763955			
Накладные расходы										770655			
Сметная прибыль										428714			
НДС 20%										699381,2			
ВСЕГО по смете										4196287			

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Инженерно-строительный институт  
Кафедра проектирования зданий и экспертизы недвижимости

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
  
подпись Р.А. Назиров  
инициалы, фамилия  
« 15 » июня 2021г.

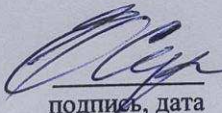
**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Пассивный дом в условиях Красноярского края  
тема

08.04.01 «Строительство»  
код и наименование направления


08.04.01.04 «Проектирование зданий. Энерго- и ресурсосбережение»  
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель

  
подпись, дата


доцент, к.т.н. Е.М.Сергуничева  
должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник

 15.06.21  
подпись, дата

М.Е. Тюменцев  
инициалы, фамилия

Рецензент

  
подпись, дата

доцент, к.т.н. Е.Г.Плюсн  
должность, ученая степень инициалы, фамилия

Красноярск 2021