

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

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО
«Сибирский федеральный университет»

кафедра «Строительство и экономика»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.Н. Шибаета
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 202__ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Прогнозирование срока службы многослойных теплоэффективных наружных
стен зданий
тема

08.04.01 «Строительство»
код и наименование направления

08.04.01.16 «Промышленное и гражданское строительство: проектирование»
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	_____	зав. Каф. ктн _____	<u>Шибаета Г. Н.</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>Бахтин В. Д.</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____		_____
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____		<u>Шибаета Г. Н.</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

Абакан 2023

АННОТАЦИЯ

на магистерскую диссертацию Бахтина Вячеслава Дмитриевича
(фамилия, имя, отчество)

на тему: «Прогнозирование срока службы многослойных теплоэффективных
наружных стен зданий»

Актуальность тематики и ее значимость: зафиксировано множество случаев, когда многослойные стены перестают удовлетворять требованиям теплозащиты раньше заложенного в проекте срока. Данная работа направлена на разработку методик прогнозирования долговечности на этапе проектирования здания.

Расчеты, проведенные в пояснительной записке: в магистерской диссертации проведены расчеты долговечности многослойных стен с применением пенополистирольного утеплителя и теплотехнические расчеты с учетом старения утеплителя из минеральной ваты.

Использование ЭВМ: Во всех основных расчетных разделах магистерской диссертации, при оформлении пояснительной записки и графической части использованы стандартные и специальные строительные программы ЭВМ: Microsoft Office Word 2010, Microsoft Office Excel 2010, AutoCAD 2010, Internet Explorer, Grand Смета.

Разработка экологических и природоохранных мероприятий: В рамках разработки магистерской диссертации разработка экологических и природоохранных мероприятий не проводилась.

Качество оформления: Пояснительная записка и чертежи выполнены с высоким качеством на ЭВМ. Распечатка работы сделана на лазерном принтере с использованием цветной печати для большей наглядности.

Освещение результатов работы: Результаты проведенной работы изложены последовательно, носят конкретный характер.

Степень авторства: Содержание магистерской диссертации разработано автором самостоятельно.

Автор магистерской диссертации

подпись

Бахтин В. Д.

(фамилия, имя, отчество)

Научный руководитель работы

подпись

Шибеева Г. Н.

(фамилия, имя, отчество)

ABSTRACT

The graduation project of _____ Bakhtin Vyacheslav Dmitrievich
(first name, surname)

The theme: Forecasting the service life of multilayer heat-efficient exterior walls of buildings

The relevance of the work and its importance: there are many cases when multilayer walls cease to meet the requirements of thermal protection before the deadline laid down in the project. This work is aimed at developing methods for forecasting durability at the stage of building design.

Calculations carried out in the explanatory note: in the master's thesis, calculations of the durability of multilayer walls with the use of expanded polystyrene insulation and thermal engineering calculations taking into account the aging of the insulation made of mineral wool were carried out.

Usage of computer: In all sections of the graduation project including the execution of the explanatory note and graphical part the computer standard and special building programs are used: Microsoft Office Word 2010, Microsoft Office Excel 2010, AutoCAD 2010, Grand Smeta.

The development of environmental conservation activities: As part of the development of the master's thesis, the development of environmental and environmental measures was not carried out.

Quality of execution: The explanatory note and drawings are made with high quality on a computer. Printing work is done on a laser printer with color prints for better visibility.

Presentation of results: The results of this work are set out in sequence; they are specific and cover all stages of construction.

Degree of the authorship: The content of the graduation work is developed by the author independently.

The author of the graduation project _____
Signature

Bakhtin V. D.
(first name, surname)

Project supervisor _____
Signature

Shibaeva G. N.
(first name, surname)

подпись, инициалы и фамилия студента
« » 202 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЗАВЕДУЮЩЕГО КАФЕДРОЙ
О ДОПУСКЕ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ К ЗАЩИТЕ

Вуз Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

Кафедра «Строительство и экономика»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Заведующего кафедрой «Строительство и экономика»

Шибасовой Галины Николаевны

(фамилия, имя, отчество заведующего кафедрой)

Рассмотрев магистерскую диссертацию студента группы № 31-3

Бахтина Вячеслава Дмитриевича

(фамилия, имя, отчество студента)

выполненную на тему Прогнозирование срока службы многослойных теплоэффективных наружных стен зданий

по реальному заказу _____
(указать заказчика, если имеется)

с использованием ЭВМ _____
(название задачи, если имеется)

Положительные стороны работы _____

в объеме _____ листов магистерской диссертации, отмечается, что работа выполнена в соответствии с установленными требованиями и допускается кафедрой к защите.

Зав. кафедрой _____ Г. Н. Шибасова

« ____ » _____ 202__ г.

РЕФЕРАТ
ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ
в форме магистерской диссертации

Тема выпускной квалификационной работы Прогнозирование срока службы многослойных теплоэффективных наружных стен зданий

ВКР выполнена на _____ страницах, с использованием _____ иллюстраций, _____ таблиц, _____ формул, _____ приложений, _____ использованных источников, _____ количество листов графического или иллюстративного материала.

Ключевые слова:

Автор работы, гр. №31-З _____

_____ В.Д. Бахтин _____
подпись инициалы, фамилия

Руководитель работы _____

_____ Г.Н. Шибеева _____
подпись инициалы, фамилия

Год защиты квалификационной работы - 2023

- Цель. Изучение методик определения долговечности многослойных стен по критерию потери теплозащиты, определения факторов, влияющих на долговечность, проведения эксперимента для определения эксплуатационных характеристик многослойной стены в осенний период и выпуск рекомендаций по проектированию и строительству теплоэффективных стен

- Задачи:

- определить параметры долговечности ограждающих стен;
- провести анализ существующих методов теоретических и экспериментальных исследований долговечности теплоизоляционных материалов и определить оптимальные для органических и неорганических утеплителей;
- определить факторы, влияющие на долговечность стен, выявить структурные изменения материала под воздействием различных внешних и внутренних факторов;

-- разработать рекомендации по прогнозированию срока службы многослойных теплоэффективных наружных стен зданий.

- Актуальность темы.

В современной строительной сфере остро стоят вопросы теплозащиты зданий. Сопротивление теплопередаче ограждающих строительных конструкций является одним из основных требований по обеспечению безопасности зданий и сооружений. Все чаще для удовлетворения требований теплопроводности во время строительства и реконструкции применяют многослойные ограждающие конструкции. Такие конструкции состоят из несущего слоя, теплоизоляции и облицовки. Наименьший коэффициент теплопроводности имеет слой утеплителя, и повреждения данного слоя критически сказываются на теплозащите всей конструкции.

В строительной сфере применяют широкий спектр теплоизоляционных материалов. При эксплуатации утеплители разрушаются под действием внешних и внутренних факторов. Внутренними факторами являются процессы, связанные с естественной деструкцией. Внешние факторы - это действие жидких агрессивных сред, а также атмосферные воздействия (колебание температуры и влажности) и старение (фото- и теплостарение). При длительном воздействии этих факторов происходит изменение структуры материала и, как следствие, его физико-механических свойств. Свойства утеплителей меняются от воздействия неконтролируемых случайных факторов.

При проектировании новых и реконструкции существующих зданий теплоизоляция практически не поддаётся точной численной оценке на долговечность и гарантированный срок службы. С целью достижения эффективной тепловой модернизации, физико-механические характеристики стен требуется определять с достаточной степенью точности. Проведенные ранее экспериментальные исследования не дают наиболее четкого и точного ответа о степени пригодности и долговечности теплоизоляционных строительных конструкций и изделий. В связи с этим исследования в области определения долговечности теплоизоляционного материала являются весьма актуальными.

- Научная и практическая новизна, эффективность.

- Экспериментально установлено что количество циклов замораживания-оттаивания, применяемое в методиках определения долговечности утеплителей, не соответствует реальным эксплуатационным;

-- Расчет показал, что при применении методики проведения теплотехнического расчета с учетом старения материала долговечность многослойных стен будет удовлетворять требованию теплозащиты в течении 50 лет.

- Выводы, рекомендации.

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию студента(ки)
Хакасского технического института - филиала СФУ

(фамилия, имя, отчество)
выполненный на тему: _____

1. Актуальность, новизна _____

2. Оценка содержания проекта _____

3. Отличительные положительные стороны проекта _____

4. Практическое значение проекта и рекомендации по внедрению в производство _____

5. Недостатки и замечания по проекту _____

6. Рекомендуемая оценка выполненного проекта _____

РЕЦЕНЗЕНТ: _____

«__» _____ 20__ год
(подпись)

(ФИО)

Магистерская диссертация выполнена мной самостоятельно.
Использованные в работе материалы и концепции из опубликованной научной литературы и других источников имеют ссылки на них.

Отпечатано в 1 экземпляре.

Библиография 80 наименований.

Один экземпляр сдан на кафедру.

« » _____ 2023 г.

(подпись)

(Ф.И.О.)

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.	4
Глава 1. Прогнозирование срока службы наружных стен по критерию теплозащиты.	7
1.1 Требования нормативной документации к критерию теплозащиты стен.	9
1.2 Целесообразный срок службы наружных стен здания.	13
1.3 Обоснование срока службы наружных стен по критерию потери требуемой теплозащиты.	17
1.4 Стеновые конструкции, применяемые в условиях резко-континентального климата.	18
1.5 Факторы, влияющие на долговечность многослойных стен.	24
1.6 Методы прогнозирования долговечности многослойных стен зданий	29
1.7 Выводы по первой главе	30
Глава 2. Расчет долговечности многослойных стен.	32
2.1 Теплотехнический расчет многослойных конструкций стен.	32
2.2 Расчет срока службы наружных стен с полимерсодержащим утеплителем по критерию теплозащиты.	45
2.3 Выводы по второй главе.	51
Глава 3 Натурное исследование температурного режима многослойной стены	52
3.1 Характеристики экспериментальной площадки.	52
3.2 Результаты исследования теплового режима многослойной стены	
3.3 Теплотехнический расчет с учетом ухудшения теплозащитных свойств минераловатного утеплителя в ходе эксплуатации.	56
3.4 Выводы по третьей главе.	60
Глава 4. Выводы и рекомендации.	71
4.1 Обобщающие выводы по теме прогнозирования долговечности многослойных стен зданий.	73
4.2 Методика проведения теплотехнического расчета с учетом долговечности.	74
Список использованных источников	76
Приложение 1. Рекомендации при проектировании, строительстве и эксплуатации многослойных стен.	3стр.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы.

Федеральный закон №384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» гласит что все строительные конструкции должны удовлетворять требованиям нормативной документации в течение всего периода эксплуатации. Одним из основных требований, предъявляемых к стеновым конструкциям – это обеспечение комфортного климата внутри здания.

В современной строительной сфере остро стоят вопросы теплозащиты зданий. Сопротивление теплопередаче ограждающих строительных конструкций является одним из основных требований по обеспечению безопасности зданий и сооружений. Все чаще для удовлетворения требований теплопроводности во время строительства и реконструкции применяют многослойные ограждающие конструкции. Такие конструкции состоят из несущего слоя, теплоизоляции и облицовки. Наименьший коэффициент теплопроводности имеет слой утеплителя, и повреждения данного слоя критически сказываются на теплозащите всей конструкции.

В строительной сфере применяют широкий спектр теплоизоляционных материалов. При эксплуатации утеплители разрушаются под действием внешних и внутренних факторов. Внутренними факторами являются процессы, связанные с естественной деструкцией. Внешние факторы - это действие жидких агрессивных сред, а также атмосферные воздействия (колебание температуры и влажности) и старение (фото- и теплостарение). При длительном воздействии этих факторов происходит изменение структуры материала и, как следствие, его физико-механических свойств. Свойства утеплителей меняются от воздействия неконтролируемых случайных факторов.

При проектировании новых и реконструкции существующих зданий теплоизоляция практически не поддаётся точной численной оценке на долговечность и гарантированный срок службы. С целью достижения эффективной тепловой модернизации, физико-механические характеристики стен требуется определять с достаточной степенью точности. Проведенные ранее экспериментальные исследования не дают наиболее четкого и точного ответа о степени пригодности и долговечности теплоизоляционных строительных конструкций и изделий. В связи с этим исследования в области определения долговечности теплоизоляционного материала являются весьма актуальными.

Целью работы является изучение методик определения долговечности многослойных стен по критерию потери теплозащиты, определения факторов, влияющих на долговечность, проведения эксперимента для определения эксплуатационных характеристик многослойной стены в осенний период и выпуск рекомендаций по проектированию и строительству теплоэффективных стен.

Задачи исследований:

- определить параметры долговечности ограждающих стен;
- провести анализ существующих методов теоретических и экспериментальных исследований долговечности теплоизоляционных материалов и определить оптимальные для органических и неорганических утеплителей;
- определить факторы, влияющие на долговечность стен, выявить структурные изменения материала под воздействием различных внешних и внутренних факторов;
- разработать рекомендации по прогнозированию срока службы многослойных теплоэффективных наружных стен зданий.

Методы исследования.

Использованы экспериментальные и численные методы определения долговечности многослойных стен.

При обработке экспериментальных данных применялись как аналитические, так и численные методы. Обработка данных проводилась с использованием программных комплексов.

Научная новизна:

- Экспериментально установлено что количество циклов замораживания-оттаивания, применяемое в методиках определения долговечности утеплителей, не соответствует реальным эксплуатационным;
- Расчет показал, что при применении методики проведения теплотехнического расчета с учетом старения материала долговечность многослойных стен будет удовлетворять требованию теплозащиты в течении 50 лет.

Глава 1. Прогнозирование срока службы наружных стен по критерию теплозащиты.

Понятие долговечность в отношении многослойных ограждающих конструкций рассматривается в [2].

Различают:

- физическую долговечность;
- моральную долговечность.

Наиболее важными количественными показателями долговечности ограждающих конструкций являются:

- средний срок службы;
- средний срок службы до первого среднего (капитального) ремонта;
- средний срок службы между капитальными ремонтами;
- средний срок службы до исчерпания эксплуатационной способности.

В основном долговечность определяется по результатам испытаний материалов на морозостойкость, влагостойкость и т.п. [15-18]. Ввиду того, что данные испытания проводятся с использованием методик не соответствующих реальным эксплуатационным условиям, полностью доверять достоверности экспериментальных данных нельзя.

В таких работах как [20, 21], при описании изменений эксплуатационных качеств ограждающих конструкций и зданий в целом используют аналогичное понятие – износ. Максимальную информативность в понятие долговечность вносят нормативные документы по надежности в технике [22] и строительных конструкциях [23]. Возникает комплексный показатель – надежность, который в зависимости от назначения объекта и условий его эксплуатации может включать: работоспособность, безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость или их сочетания.

Износ ограждающих конструкций по определению [24] проходит через четыре стадии: малый износ, повреждения, разрушение и полный износ.

Характер процесса износа и его восстановления схематически показан на рис. 1 [24].

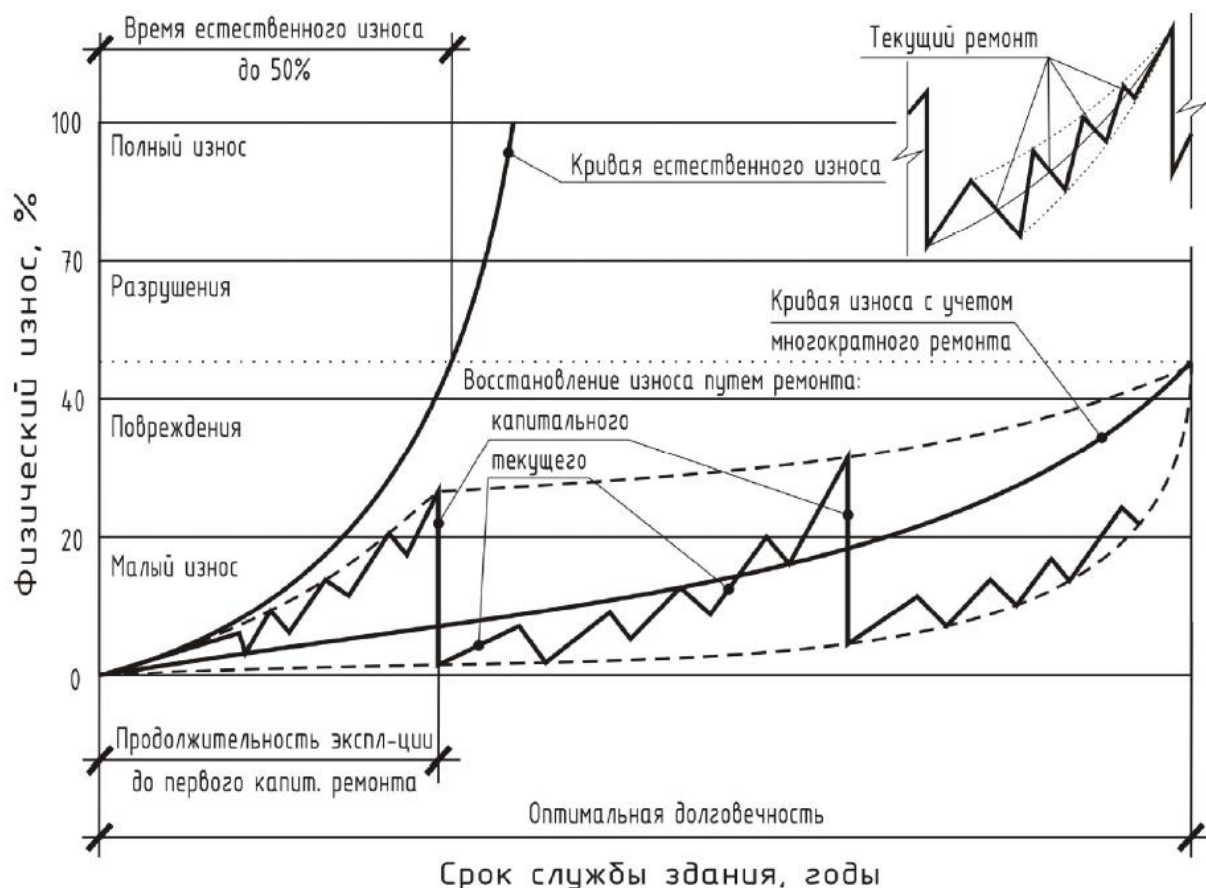


Рисунок 1.1 – Схема характера процесса износа и его восстановления

Для достижения высоких показателей по параметрам эксплуатационной надежности и долговечности здания необходимо не только применять качественные материалы, но и учитывать особенности их совместной работы. Для этого необходимо провести анализ работы каждого конструктивного элемента трёхслойной стены и обозначить предъявляемые к ним требования. Для более точного анализа стены как многослойной ограждающей конструкции необходимо учесть физические процессы, происходящие в каждом слое, а также процессы, перетекающие между слоями.

1.1 Требования нормативной документации к критерию теплозащиты стен

Требование энергетической эффективности зданий и сооружений является одним из основных требований при проектировании. Здания и сооружения должны быть спроектированы и построены таким образом, чтобы в процессе их эксплуатации обеспечивалось эффективное использование энергетических ресурсов и исключался нерациональный расход таких ресурсов [1].

Требование по теплозащите ограждающих конструкций является основополагающим для обеспечения энергетической эффективности здания и сооружения. Также этот параметр влияет на микроклимат помещений, что в свою очередь тоже нормируется и имеет соответствующие требования при проектировании. В проектной документации здания или сооружения должны быть определены значения характеристик ограждающих конструкций и приняты конструктивные решения, обеспечивающие соответствие расчетных значений следующих теплотехнических характеристик требуемым значениям, установленным исходя из необходимости создания благоприятных санитарно-гигиенических условий в помещениях [1].

Энергетическая эффективность здания должна удовлетворять требованиям на протяжении всего срока эксплуатации.

Известно, что с применением эффективных теплоизоляционных конструкций снижаются расходы на отопление зданий, но расчеты по энергоэффективности зданий не учитывают расходы на капитальный ремонт наружного ограждения в процессе эксплуатации. В работе [2] отмечается, что «при долговечности материалов и конструкций меньше 50 лет затраты на ремонт многослойных стеновых конструкций ... превышают ожидаемую экономию средств от снижения расходов на отопление при эксплуатации». И, с этой точки зрения, сроку службы наружного ограждения и долговечности

материалов, его составляющих, следует уделять не меньше внимания, чем просто обеспечению его теплозащиты [3].

В стандарте организации Российского общества инженеров строительства [4] предпринята попытка нормировать долговечность наружных стен. В основу нормирования положены конструктивные особенности несущих систем, ограждающих конструкций и используемых материалов для теплоизоляционных и облицовочных слоев. Выборы из нормативного документа по прогнозируемой долговечности наружных стен зданий приведены в табл. 1 [4].

Таблица 1.1 - Прогнозируемая долговечность наружных стен здания.

№ п/п	Характеристика зданий, наружных стен и других конструктивных элементов	Прогнозируемая долговечность, годы
1	Монолитные и сборно-монолитные (высотой до 30 этажей), наружные стены с металлическим каркасом и пустотелыми крупноформатными камнями из пористой керамики, полистирольными, ячеистобетонными автоклавными блоками, огнестойкими пенополиуретановыми плитами повышенной плотности с наполнителями, минераловатными плитами из базальтового волокна повышенной жесткости, облицованные керамическим кирпичом или крупноразмерными плитами из природного и искусственного камня	150
2	Монолитные и каркасные железобетонные (высотой до 12 этажей), наружные стены с несущими монолитными железобетонными межоконными	150

	простенками или ненесущими из кирпича и камня, утепленные жесткими минераловатными, пенополиуретановыми плитами, закрепленными дюбелями к несущей части наружной стены, оштукатуренными по капроновой или металлической сетке	
3	Мелкоблочные (высотой до 5 этажей), наружные стены самонесущие и ненесущие из мелких ячеистобетонных блоков, легкогобетонных камней полистиролбетонных блоков, облицованных кирпичом	100
4	Каркасные из легких наружных металлических панелей (высотой до 12 этажей), наружные стены ненесущие из навесных панелей с металлическими облицовками с минераловатными, пенополиуретановыми утеплителями (типа «сэндвич»)	70

В том же нормативном документе приведена таблица продолжительности эффективной эксплуатации различных конструкций наружных стен до первого капитального ремонта. Выборка из полной таблицы нормативного документа приведена в табл. 2.

Таблица 1.2 - Продолжительность эксплуатации наружных стен до первого капитального ремонта [4]

№ п/п	Характеристика наружных стен	Продолжительность эксплуатации до первого капитального ремонта, годы
1	Каркасные из металла со стенами из пустотелых крупноформатных камней из пористой керамики с морозостойкостью F35-F50, облицованные керамическим кирпичом или крупноразмерными плитами из природного и искусственного камня с морозостойкостью не менее F50	80
2	Каркасные из металла со стенами из пустотелого керамического кирпича, камней с морозостойкостью F35-F50, утепленные полистиролбетонными, ячеистобетонными автоклавными блоками, минераловатными, базальтовыми плитами повышенной жесткости, облицованные керамическим кирпичом или крупноразмерными плитами из природного и искусственного камня с морозостойкостью не менее F50	60
3	Монолитные железобетонные, кирпичные (F35), утепленные жесткими минераловатными плитами на дюбелях, облицованные керамическим кирпичом с морозостойкостью не менее F35	35
4	Монолитные железобетонные, кирпичные (F35) с беспрессовыми пенополистирольными плитами на	25

	дюбелях, с противопожарными рассечками из минераловатных плит, оштукатуренные по металлической или капроновой сетке	
5	Из трехслойных железобетонных панелей, утепленных пенополистирольными экструдированными плитами	45
6	Из трехслойных железобетонных панелей, утепленных с беспрессовыми пенополистирольными плитами	35
7	Из трехслойных железобетонных панелей, утепленных пенополиуретановыми плитами	60

С начала использования трехслойных теплоэффективных наружных стен проводились многочисленные исследования с его использованием. Тематики исследований были различными [5–14]. Эти работы доказывают, что научное сопровождение не поспевало за стремительными темпами использования теплоизоляционных изделий, и стали выявляться некоторые недостатки многослойных ограждающих конструкций.

1.2 Целесообразный срок службы наружных стен здания.

Многослойные стены состоят из несущего слоя, утеплителя и ограждающего слоя. Для определения целесообразного срока службы необходимо определить максимальную долговечность каждого из слоев.

В процессе эксплуатации здания подвергаются физическому износу. Срок их службы можно продлить посредством периодических ремонтов. Однако после некоторого количества текущих и капитальных ремонтов дальнейшее поддержание жизнеспособности здания может быть экономически нецелесообразно.

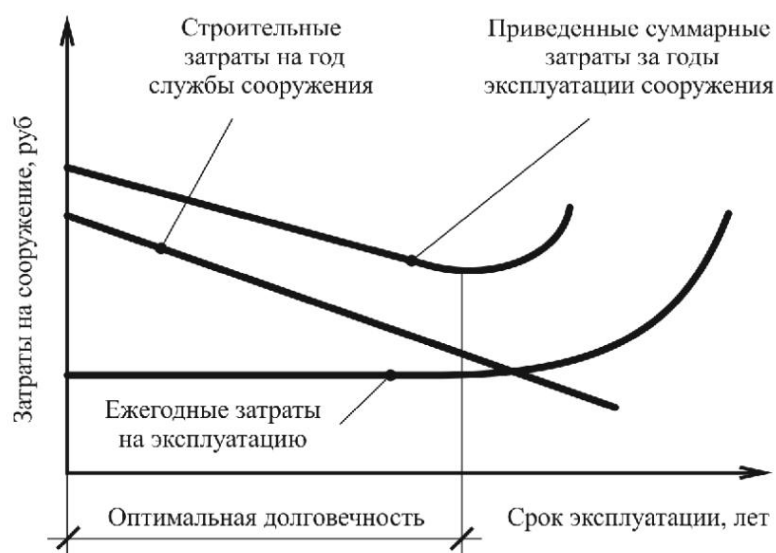


Рисунок 1.2 – К определению оптимальной долговечности здания [58].

Оптимальная долговечность зданий, то есть их материалов, должна удовлетворять нормативным документам, как говорилось ранее, и сочетаться с капиталностью. В работе [59] на основе экономического анализа показано что «излишняя капиталность жилых зданий, даже без учета фактора морального износа, сопряжена с невозвратимыми потерями в результате непроизводительного использования капитальных вложений ... срок службы всех жилых зданий, возводимых с несущими конструкциями из бетона, натурального камня, обжиговых и пропариваемых материалов, может быть принят единым, равным 100 лет».

Долговечность ограждающих конструкций должна быть равна долговечности несущих. Если используемые материалы для ограждающих конструкций имеют долговечность ниже чем у несущих, то проектная документация должна содержать технические решения по замене таких конструкций.

Таким образом оптимальная долговечность зданий по физическому износу составляет 100 лет.

Также моральный износ здания в комплексе с моральным износом застройки диктуют ограничения по уровню капиталности зданий, их ремонту и реконструкции исходя из оставшихся сроков службы зданий.

Приведем обобщающий ретроспективный анализ развития жилых зданий массовой застройки за последние 100 лет и их морального старения [57, 60-63]:

- одно-двухэтажные бараки, построенные в период индустриализации страны, через 40 лет были снесены по причине их несоответствия социально-экономическим требованиям;

- двух-пятиэтажные кирпичные здания с деревянным перекрытием, построенные в 30-50-х годах, через 40-50 лет признались морально устаревшими и подверглись сносу;

- крупнопанельные пятиэтажные здания постройки 50-60-х годов перестали соответствовать социальным требованиям уже к началу 90-х годов. Появились региональные программы по реконструкции типовых панельных серий. В экономически развитых районах такие здания подверглись сносу.

Таким образом моральный износ зданий массовой застройки наступает через 40-60 лет их эксплуатации, хотя физическое состояние материалов конструкций остается работоспособным.

Изучение вопроса оптимальной долговечности показало, что решение о продолжении эксплуатации зависит от социально-экономического развития региона. В регионах с интенсивным социально-экономическим развитием моральное старение зданий наступает раньше, чем в остальных регионах.



Рисунок 1.3 – Совместный физический и моральный износ [57]:

1M – оптимальная долговечность по физическому износу;

2M, 3M ... nM – оптимальная долговечность по фактору морального износа.

Долговечность несущих систем зданий, как и несущего слоя ограждающих конструкций, выполняемых из искусственных каменных изделий, может составлять, как говорилось ранее, 300-500 лет. Теплоизоляционные и ограждающие слои как правило выполняются из органических или комбинированных материалов и срок их службы составляет 20-200 лет. Исходя из этого можно сделать вывод, что долговечность несущих и ограждающих конструкций не может быть одинаковой, как того требуют нормативные документы [57].

Как говорилось ранее, под долговечностью ограждающих (стеновых) конструкций следует понимать долговечность теплоизоляционного облицовочного слоя. Тогда срок службы будет определяться продолжительностью эксплуатации без потери теплозащитных свойств. Исходя из этого, целесообразнее долговечность ограждающих конструкций приравнять к моральному износу, а не к физическому [57].

Таким образом, оптимальная долговечность многослойных стен будет определяться периодом эксплуатационной надежности теплоизоляционного слоя и должна составлять 40-60 лет [57].

1.3 Обоснование срока службы наружных стен по критерию потери требуемой теплозащиты.

Исходя из условий повышенного внимания к энергосбережению в связи с принятием ФЗ №261 «Об энергосбережении», в том числе и при проектировании наружных стен, в качестве основного критерия определения сроков службы таких конструкций можно принять сохранение требуемого уровня теплозащиты зданий на протяжении всего срока эксплуатации.

Ограждающие конструкции в подавляющем большинстве случаев проектируются с некоторым запасом по теплозащите, связанным с ограниченным типоразмерным рядом теплоизоляционных изделий по толщине и округлением в большую сторону при вычислении толщины слоя теплоизоляции. Т. е. пока сохраняется условие $R_{TO} \geq R_{TO}^{m, p}$, конструкция будет отвечать современным требованиям теплозащиты.

В связи с этим срок службы ограждающей конструкции по критерию теплозащиты должен определяться временем снижения общего сопротивления теплопередаче ограждения R_{TO} от начала эксплуатации до момента достижения величины требуемого сопротивления теплопередаче $R_{TO}^{T, P}$.

Величина $R_{TO}^{T, P}$ для заданного места строительства определяется по нормативному документу – СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

Облицовочные слои наружных стен подвергаются ремонту и восстановлению в процессе эксплуатации здания, а конструктивные слои практически не изменяют теплозащитных свойств. В этой связи снижение теплозащитных свойств ограждающих конструкций происходит в

значительной степени в результате старения и повышения коэффициентов теплопроводности λ теплоизоляционных слоев.

Таким образом, срок службы ограждающей конструкции по критерию потери требуемой теплозащиты определится периодом, в течение которого увеличивается коэффициент теплопроводности теплоизоляционного слоя до значения, соответствующего критическому значению общего сопротивления теплопередаче, или отношением критического приращения коэффициента теплопроводности $\Delta\lambda_{кр}$ к ежегодному приращению этого коэффициента $\Delta\lambda_{год}$ в процессе эксплуатации. Проанализируем факторы, которые могут повлиять на уменьшение теплозащиты теплоизоляционных материалов.

1.4 Стеновые конструкции, применяемые в условиях резко-континентального климата.

Современные стены представляют из себя многослойные конструкции, состоящие из материалов различной долговечности.

Все многообразие применяемых в массовом строительстве конструктивных решений многослойных стен сводится к нескольким основным типам:

- 1) Многослойные стены, слой утеплителя которых располагается внутри помещений здания;
- 2) Многослойные стены, слой утеплителя которых располагается внутри конструкции;
- 3) Многослойные стены, слой утеплителя которых располагается снаружи конструкции;

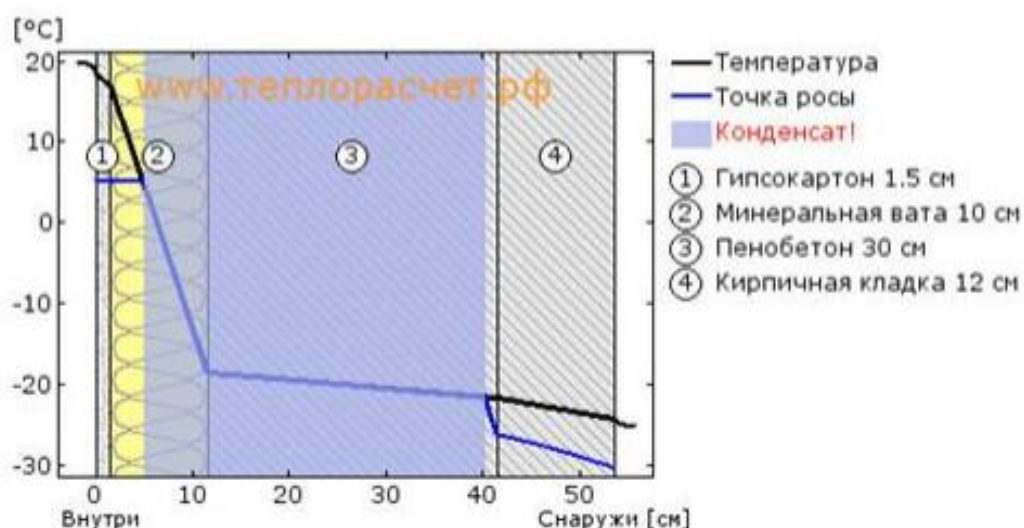


Рисунок 1.4 – Конструкция с утеплением изнутри.

Многослойные стены первой группы имеют следующую конструкцию:

- 1 слой – отделка помещений (штукатурный слой, ГВЛ и т.д.);
- 2 слой – утеплитель;
- 3 слой – несущий.

Конструкция с утеплением изнутри применяется в основном для утепления зданий, представляющих историческую и культурную ценность, не нарушая существующего ценного фасада здания [65]. Анализ влажности таких конструкций показывает 100% влажность внутри конструкции [64, 66]. Поэтому применение конструкций с утеплением изнутри не долговечно и не применяются в новом строительстве.

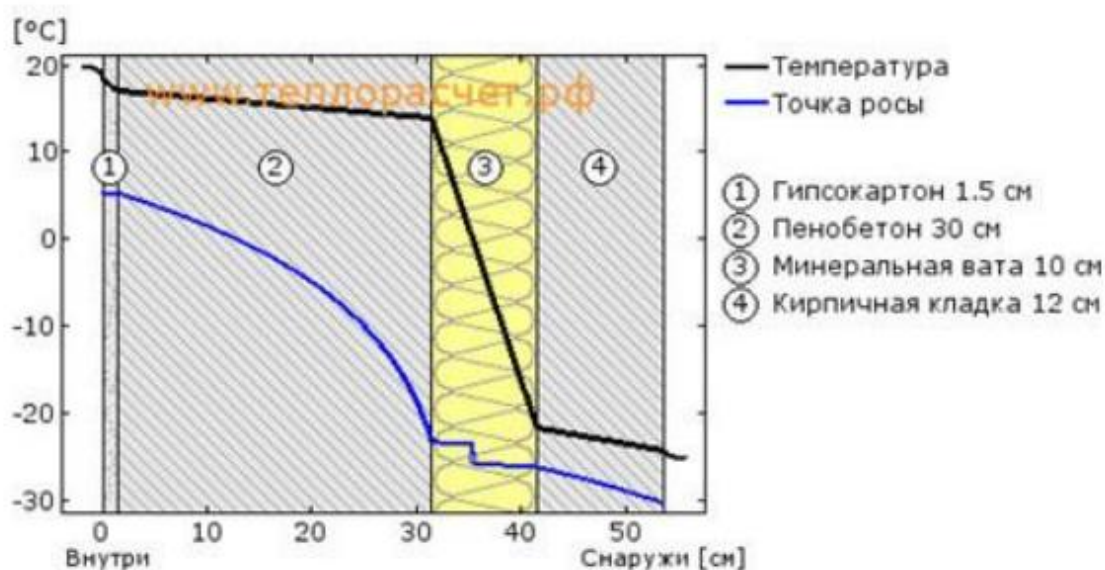


Рисунок 1.5 - Конструкция с утеплением снаружи (3-х слойная стена).

Многослойные стены второй группы имеют следующую конструкцию:

1 слой – несущий;

2 слой – утеплитель;

3 слой – ограждающий слой (все виды конструкции, кроме вентилируемого фасада и штукатурного слоя).

К данному виду конструкции также относятся трехслойные панели.

Трехслойные стены с утеплителем между несущим и облицовочным являются распространённой конструктивной схемой теплоэффективных стен. Недостатком применения данной конструкции в условиях резко-континентального климата является отсутствие возможности удаления влаги из слоя утеплителя [67-72]. Накопленная вода и лед заменяют воздух в материале. Теплопроводность воды в 23 раза выше теплопроводности воздуха, а льда в 97 раз. Из этого следует вывод, что накопление влаги и льда приводит к уменьшению сопротивления теплопередаче.

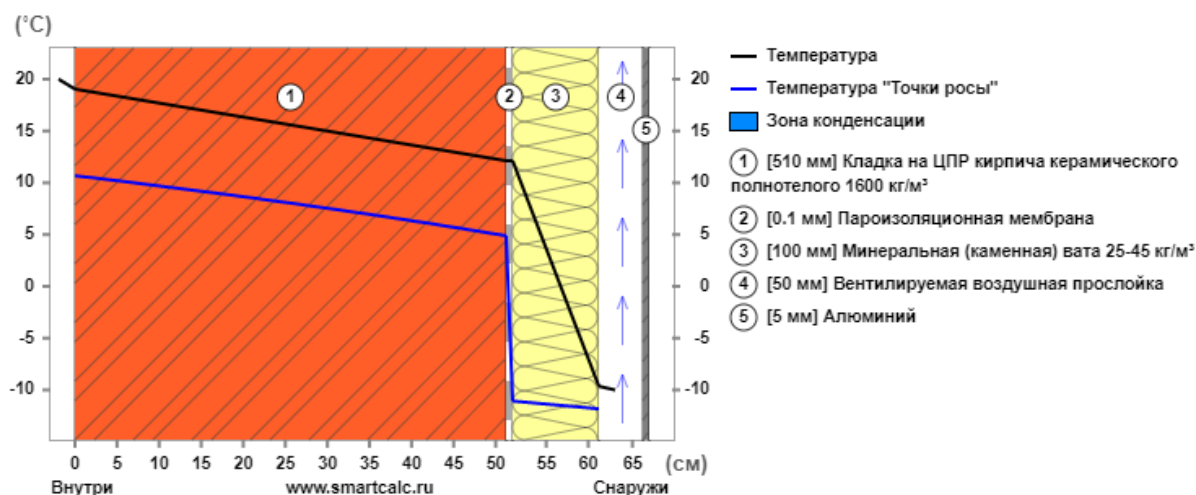


Рисунок 1.6 - Конструкция с утеплением внутри

Многослойные стены второй группы имеют следующую конструкцию:

1 слой – несущий;

2 слой – утеплитель;

3 слой – ограждающий слой (вентилируемый фасад, штукатурный слой).

Данный вид конструкции имеет большое количество преимуществ по сравнению с предыдущими конструктивными схемами [73-75]. Влага, образующаяся в слое теплоизоляции, удаляется из нее при помощи вентзазора в течение всего срока эксплуатации. Так же данная конструкция позволяет достаточно легко проводить текущий и капитальный ремонт.

В рамках диссертации будут рассматриваться только самые распространённые теплоизоляционные материалы в Республике Хакасия.

Энергоэффективность и теплозащита зданий является одним из основных аспектов безопасности зданий и сооружений [25]. В результате многочисленных проведенных исследований [26-31] стало очевидно, что при проектировании энергоэффективного дома, в первую очередь стоит беспокоиться о предотвращении потерь тепла через ограждающие конструкции, а уже потом об оптимизации работ инженерных систем здания, о снижении затрат на освещение и внедрении альтернативных источников энергообеспечения.

Теплоизоляционные материалы, чьей главной характеристикой является теплопроводность, играют решающую роль в обеспечении оптимальных условий микроклимата помещений.

Вопросы, связанные со сравнением теплоизоляционных материалов и принципом их выбора, имеют описание в статьях [32-36]. Анализ публикаций по теме исследования позволяет сделать вывод о существующей трудности выбора оптимального материала для потребителя [37-43].

Рассмотрим основные группы теплоизоляционных материалов, их основные свойства и характеристики, выделяющие их среди остальных материалов. Для сравнительного анализа использовались данные из источников [44, 45].

Пенополистирол – это пенопласт, состоящий примерно на 98% из воздуха и 2% из полистирола, переработанный из нефти. Процесс идет в несколько этапов. Добавляются различные модификаторы. Данный утеплитель обладает следующими свойствами:

- Коэффициент теплопроводности – 0,037...0,042 Вт/мК
- Пожароопасность - В4
- Экологичность - Нет
- Гигроскопичность - Низкая
- Звуко- и теплоизоляция - Высокая
- Биостойкость - Высокая
- Долговечность – 10 лет
- Устойчивость к коррозии – Да

Минеральная вата – это уникальный теплоизоляционный материал, так как производится из разного сырья. Первый вариант – в производстве материала используют шлаки различных металлов, а второй способ – добавка в состав горных пород, таких как базальт, диабаз или известняк, в смеси с фенолом. В результате мы получаем теплоизоляционный материал с низкими показателями гигроскопичности. Данный утеплитель обладает следующими свойствами:

- Коэффициент теплопроводности – 0,045...0,055 Вт/мК
- Пожароопасность - Д
- Экологичность - Да
- Гигроскопичность - Низкая
- Звуко- и теплоизоляция - Высокая
- Биостойкость - Высокая
- Долговечность – 20 лет
- Устойчивость к коррозии – Да

Стекловата – это теплоизоляционный материал, в производстве которого используются частицы стекла (стеклянная пыль). По сравнению с минеральной ватой, стекловата имеет повышенную упругость и прочность, благодаря увеличенным размерам волокон. Данный утеплитель обладает следующими свойствами:

- Коэффициент теплопроводности – 0,03...0,052 Вт/мК

- Пожароопасность - B1-B4
- Экологичность - Да
- Гигроскопичность – Хорошая
- Звуко- и теплоизоляция - Высокая
- Биостойкость - Низкая
- Долговечность – 7 лет
- Устойчивость к коррозии – Да

Сэндвич-панели с пенополиуретаном – это теплоизоляционный материал, который имеет многослойную структуру. Результатом производства служит утеплитель, в нашем случае – это пенополиуретан, который с двух сторон обволакивает жесткий, прочный материал, например, железный оцинкованный лист. Такой материал имеет долгий срок службы – 50 лет и более, обладает относительно небольшим весом, и отличными теплотехническими характеристиками. Кроме того, сэндвич - панели позволяют сократить сроки возведения сооружений. Данный утеплитель обладает следующими свойствами:

- Коэффициент теплопроводности – 0,022 Вт/мК
- Пожароопасность - B2-B4
- Экологичность - Да
- Гигроскопичность - Низкая
- Звуко- и теплоизоляция - Высокая
- Биостойкость - Высокая
- Долговечность – 50 лет
- Устойчивость к коррозии - Да

Для наглядности анализа сравнения в таблице 1 приведены рассматриваемые теплоизоляционные материалы и их основные характеристики.

Таблица 1.3. Сравнение характеристик

Свойства	Теплоизоляционные материалы			
	Пенополистирол	Минеральная вата	Стекловата	Пенополиуретан
Коэффициент теплопроводности	0,037...0,042	0,045...0,055	0,03...0,052	0,022
Пожароопасность	B4	Д	B1-B4	B2-B4
Экологичность	Нет	Да	Да	Нет
Гигроскопичность	Низкая	Низкая	Хорошая	Низкая
Звуко- и теплоизоляция	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая
Биостойкость	Высокая	Высокая	Низкая	Высокая
Долговечность	10	20	7 лет	50 лет
Устойчивость к коррозии	Да	Да	Да	Да
Цена за 1 м ²	500-1200 руб.	1500-3000 руб.	1800-2000 руб.	От 1200 руб.

1.5 Факторы, влияющие на долговечность многослойных стен

На основе анализа теплоизоляционных материалов было выявлено, что самыми распространёнными материалами являются: минеральная вата и материалы на основе пенополистирола. Данные материалы по сравнению с несущим слоем ограждения имеют не большой срок эксплуатационной надёжности. Но под действием климатических факторов и внутренних процессов долговечность данных материалов может быть снижена.

Существует семь основных причин вызывающих разражение материалов многослойных стен здания:

- чередующееся замораживание и оттаивание;
- чередующееся увлажнение и высушивание;

- длительное воздействие пониженных температур;
- солнечная радиация;
- ветровая нагрузка;
- карбонизация атмосферной углекислоты.

Климатические факторы, такие как атмосферные осадки, перепады температур, изменение влажности воздуха, скорость ветра приводит к образованию и накоплению влаги в толще утеплителя [2]. Для материалов, тяготеющих к накоплению влаги данные факторы оказывают пагубное влияние, ввиду дальнейшего замораживания-оттаивания воды.

Минеральная вата имеет волокнистую структуру и высокую воздушную проницаемость. Поэтому для такого вида материала самым опасным фактором в условиях резко-континентального климата является замораживание и оттаивание влажной минваты. При большой влажности вода при замораживании расширяется, образуя лед. Это разрушает волокна и образуются зазоры, которые уменьшают теплозащитные свойства минеральной ваты. При больших повреждениях во время оттаивания минвата может осесть под собственным весом, что образует мостики холода.

Влага может накапливаться в теплоизоляционном слое как с внешней, так и с внутренней стороны стены.

Увлажнение с внешней стороны. Фасадная облицовка вентфасада, состоящая из отдельных элементов, имеет зазоры, через которые дождь и сильный ветер проникают внутрь системы и увлажняют утеплитель. От проникновения влаги полностью не защищает даже сплошная облицовка, поскольку всегда существует вероятность дефектов монтажа, механических повреждений, число которых возрастает с увеличением площади облицовки, количества оконных обрамлений и различных врезок.

Увлажнение с внутренней стороны. В холодное время года утеплитель подвержен накоплению влаги с теплой стороны. Если несущие ограждения имеют повышенную паропроницаемость, паровлажная влага из жилого помещения конденсируется в холодных областях утеплителя.

В отличие от минеральной ваты утеплители на основе полистирола имеют закрытую пористость и менее подвержены влиянию фактора замораживания и оттаивания. Но со временем влага в виде пара попадает в поры и накапливается в пенополистироле. Это приводит к разрушению утеплителя во время замораживания.

Более значимое влияние оказывает температурный фактор [3]. В условиях резко-континентального климата происходит большой перепад температур. Утеплители на основе пенополистирола имеют высокий коэффициент линейного расширения. В холодный период утеплитель уменьшается в размерах, что приводит к разрушению облицовочного слоя при мокром фасаде. В теплый же период, наоборот, размер утеплителя увеличивается, панели давят друг на друга и разрушают торцы, что приводит к образованию теплопроводных включений.

Так как утеплитель обычно закрыт от солнца облицовочным слоем, непосредственно сами солнечные лучи влияние на него оказывают незначительное. Однако они нагревают поверхность облицовки, что приводит к тепловому воздействию. Солнечное воздействие оказывает большой ущерб утеплителю во время строительства. Складирование под открытым небом, несвоевременная установка фасадного слоя приводит к разрушению утеплителей.

Так же на долговечность теплоизоляционных материалов влияет технология производства работ по монтажу.

Технология теплоизоляции заключается в послойном креплении слоев стены непосредственно друг к другу [51-52]. Утеплитель закрепляют в два слоя так, чтобы второй слой перекрывал стыки первого. Закрепление производится при помощи тарельчатых дюбель-гвоздей и специального клея, которые устанавливаются с расчетным шагом.

После крепления утепляющего слоя наносят базовый слой. На данном этапе работы используется армирующая анти-кислотно-щелочная сетка и сухой клей. Армирующий слой из сетки закрепляется на поверхности

утеплителя, путем вдавливания ее в свеженанесенный клеевой состав. На углы здания требуется установить специальные армированные уголки.

При соблюдении технологии данный метод зарекомендовал себя достаточно надежным, но зачастую технология нарушается и это приводит к ускоренному стиранию материалов.



Рисунок 2 – Пример нарушения технологии крепления слоя утеплителя к несущему слою стены цоколя в здание по адресу г. Абакан, ул.

Торосова 10

На рисунке 2 представлен самый распространённый дефект утепления стены цоколя. Недостаточная надёжность крепления привела к образованию зазора. В данном случае дефект не представляет угрозы так как утеплитель уходит в землю и образует замкнутое пространство – зазор не питается воздухом с улицы. Но данный дефект может проявиться при утеплении стен, и зазор уже будет считаться вентилируемым и приведет к выключению из работы слой утеплителя.

Данный дефект может проявиться при неправильном креплении тарельчатых дюбель-гвоздей

Последовательность и технологии монтажа вентфасадов описываются в [47]

В конструкции вентфасадов принимают однослойную и двухслойную систему крепления утеплителя.

При однослойной системе штучный материал утеплителя имеет толщину, принятую по проекту. При двухслойной системе толщина разбивается на две части и утеплитель укладывается в два слоя со смещением так, чтобы стыки первого слоя перекрывались вторым слоем.

Так же в двухслойных системах применяют утеплители разной плотности. Менее плотный укладывается первым слоем, так как он более плотно примыкает к несущей конструкции и заполняет все неровности. Более плотный воспринимает ветровые нагрузки.

Монтаж плит осуществляют сразу после установки кронштейнов. Правда, в некоторых подсистемах, предусматриваются горизонтально расположенные элементы, которые помогают удерживать утеплитель. Минеральную вату крепят к основанию качественными тарельчатыми дюбелями, которые должны не менее чем на 50 мм заходить в стену. На один квадратный метр утеплителя должно приходиться около 5 — 8 дюбелей, но не менее 4 на одну плиту.

По мере установки плит их необходимо сразу закрывать мембраной. В зависимости от рекомендаций производителя полосы мембраны должны

иметь определённые нахлёсты порядка 10 — 15 мм, которые проклеивают соединительной лентой.

После монтажа производится контроль качества [3]. Проверяемые параметры оказывают влияние как на механическую так и на теплоизоляционную безопасность.

И так выделим основные моменты нарушения технологии монтажа вентилируемых фасадов, которые повлияют на теплоизоляционные характеристики в процессе эксплуатации

- 1) Использование одного слоя утеплителя.
- 2) Недостаточная глубина анкеровки дюбеля.
- 3) Большой диаметр отверстия под дюбель.
- 4) Некачественно отчищена поверхность, на которую монтируется утеплитель.
- 5) Швы пароизоляционной пленки непроклеенные.
- 6) В процессе монтажа утеплитель был увлажнен.

1.6 Методы прогнозирования долговечности многослойных стен зданий.

Методики, описанные в нормативной документации применимы только к отдельно взятым материалам. Так как долговечности слоя утеплителя в конструкции многослойной стены наименьшая, будут рассмотрены методики, применимые только к этому виду материала.

В нормативной документации существует два способа определения долговечности теплоизоляционных материалов.

- 1) По несущей способности ГОСТ 12091-2011
- 2) По теплозащите ГОСТ Р 57418-2017

Данные методики объединяет принцип проведения испытаний.

Образцы проходят через циклы попеременного замораживания-оттаивания.

После оттаивания и высушивания проводится испытание на прочность или определяют теплотехнические характеристики материалов.

Перечисленные ранее разрушающие факторы, такие как чередующееся замораживание и оттаивание, чередующееся увлажнение и высушивание, длительное воздействие пониженных температур имитируются в климатической камере, что позволяет определить долговечность материала при воздействии данных факторов.

Факторы выветривания приводят к разрушению облицовочного слоя [24], что приводит к накоплению влаги в утеплителе, воздействию на него высоких и низких температур.

Для определения долговечности всей конструкции многослойной стены разработана только одна методика [50]. Однако данный метод учитывает воздействие только солнечной радиации на материал.

1.7 Выводы по первой главе

Долговечность теплоэффективных стен по потере теплозащиты определяется временем в годах, в течение которого стена удовлетворяет требованиям теплозащиты.

Ввиду того, что теплоэффективные стены представляют собой многослойные конструкции, состоящие из несущего слоя, слоя теплоизоляции и облицовочного слоя, общая долговечность стены по критерию потери теплозащиты будет зависеть от материала с самым низким сроком службы.

Проанализировав нормативную документацию и научные источники было выявлено, что самым низким сроком эксплуатации обладает слой теплоизоляции.

На слой теплоизоляции в ходе эксплуатации влияют климатические факторы. В зависимости от вида материала те или иные факторы оказывают на материал большее влияние. На минераловатные утеплители большее

влияние оказывают длительные пониженные температуры, накопление влаги и попеременное замораживание-оттаивание. На полистиролсодержащие – длительные высокие температуры и солнечная радиация.

На анализе рынка материалов [44, 45] было выявлено что самыми распространёнными материалами в качестве теплоизоляции используются: минеральная вата, стекловата и материалы на основе полистирола.

Факторы, которые приводят к разрушению многослойных стен напрямую или косвенно, приводят к накоплению влаги в слое утеплителя и влиянию прямых солнечных лучей на слой утеплителя. Поэтому оптимальной методикой для определения долговечности неорганических утеплителей будут испытания на морозостойкость. Для органических утеплителей – методика, описанная в источнике [50] по воздействию высоких температур и солнечной радиации.

Глава 2. Расчет долговечности многослойных стен.

2.1 Теплотехнический расчет многослойных конструкций стен.

Прежде чем проводить расчет долговечности многослойных стен необходимо определить параметры рассматриваемых конструкций многослойных стен. Для этого необходимо провести теплотехнический расчет.

Исходные данные для теплотехнического расчета были взяты из [76].

Расчетная температура внутреннего воздуха в помещении в холодный период года: $t_{int} = +18^{\circ}\text{C}$. Расчетная зимняя температура наружного воздуха равна средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0.92, $t_{ext} = -35^{\circ}\text{C}$. Средняя температура наружного воздуха и продолжительность отопительного периода со средней суточной температурой воздуха ниже или равной 8°C : $z_{ht} = 223$ сут. Средняя температура отопительного периода: $t_{ht} = -7,9^{\circ}\text{C}$

Градусо-сутки отопительного периода D_d по [76]:

$$D_d = (t_{в} - t_{от}) z_{от} = (18 + 7,9) \cdot 223 = 5731,1^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут.}$$

В соответствии с [76], приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений R_0^r , $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, должно приниматься не ниже нормируемых значений R_{req} , которые устанавливаются по нормам таблицы 4 в зависимости от градусо-суток отопительного периода. Для $D_d = 5776^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}$ нормируемое сопротивление теплопередаче равно для стен

$$R^{red} = \alpha \cdot D_d + b = 0,0003 \cdot 5731,1 + 1,2 = 2,92 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт},$$

Конструктивные схемы многослойных стен:

- 1) Кирпичная стена с утеплением из минеральной ваты по системе мокрый фасад:
- 2) Кирпичная стена с утеплением из пенополистирола по системе мокрый фасад:

3) Кирпичная стена с утеплением из минеральной ваты с облицовочным слоем из кирпича:

4) Кирпичная стена с утеплением из пенополистирола с облицовочным слоем из кирпича:

5) Кирпичная стена с утеплением из минеральной ваты по системе вентфасада:

6) Кирпичная стена с утеплением из пенополистирола по системе вентфасада:

7) Сэндвич панель с минераловатным утеплителем с облицовкой по системе вентфасад.

8) Сэндвич панель с пенополистирольным утеплителем с облицовкой по системе вентфасад.

1. *Теплотехнический расчет кирпичной стены с утеплением из минеральной ваты по системе мокрый фасад:*

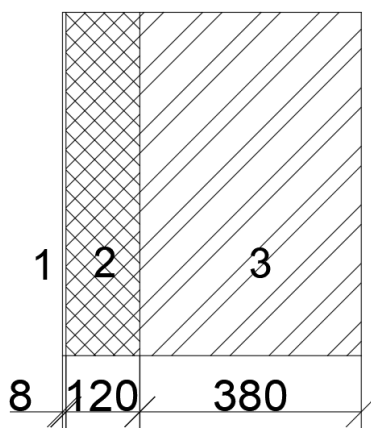


Рисунок 2.1 – Кирпичная стена с утеплением из минеральной ваты по системе мокрый фасад

Таблица 2.1 – Характеристики кирпичной стены с утеплением из минеральной ваты по системе мокрый фасад

№	Наименование	Толщина, м	Теплопр. λ , Вт/ (м·К)	Теплоусв. S, Вт/(м ² ·°C)
1	Штукатурный слой	0,008	0,26	8,48
2	Минеральная вата	0,12	0,039	0,32
3	Кирпич	0,38	0,87	10,9

Сопротивление теплопередаче R_o , м²·°C/Вт, ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями:

$$R_o = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,008/0,26 + 0,12/0,039 + 0,38/0,87 + 0,043 = 3,7 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт},$$

где $R_1, R_2, \dots, R_n$ - термические сопротивления отдельных слоев ($R = \delta/\lambda$), $R_{si} = 1/\alpha_v = 0,115$, $\alpha_v = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций [76].

$R_{se} = 1/\alpha_n = 0,043$, $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкций для условий холодного периода [76].

Коэффициент теплотехнической однородности стен из кирпича $r = 0,9$.

Тогда приведенное сопротивление теплопередаче кирпичных стен здания равно:

$$R_o^r = r \cdot R_o = 0,9 \cdot 3,7 = 3,33 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

$$R_o^r = 3,33 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} > R_{req} = 2,92 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

2. *Теплотехнический расчет кирпичной стены с утеплением из пенополистирола по системе мокрый фасад:*

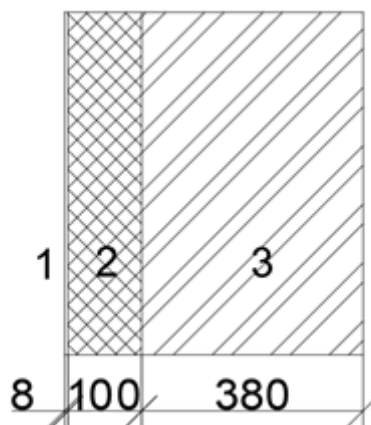


Рисунок 2.2 – Кирпичная стена с утеплением из пенополистирола по системе мокрый фасад

Таблица 2.2 – Характеристики кирпичной стены с утеплением из пенополистирола по системе мокрый фасад

№	Наименование	Толщина, м	Теплопр. λ , Вт/ (м·К)	Теплоусв. S, Вт/(м ² ·°C)
1	Штукатурный слой	0,008	0,26	8,48
2	Пенополистирол	0,1	0,033	0,32
3	Кирпич	0,38	0,87	10,9

Сопротивление теплопередаче R_o , м²·°C/Вт, ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями:

$$R_o = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,008/0,26 + 0,1/0,033 + 0,38/0,87 + 0,043 = 3,7 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$

где $R_1, R_2, \dots, R_n$ - термические сопротивления отдельных слоев ($R = \delta/\lambda$), $R_{si} = 1/\alpha_v = 0,115$, $\alpha_v = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций [76].

$R_{se} = 1/\alpha_n = 0,043$, $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода [76].

Коэффициент теплотехнической однородности стен из кирпича $r = 0,9$.

Тогда приведенное сопротивление теплопередаче кирпичных стен здания равно:

$$R'_{0} = r \cdot R_0 = 0,9 \cdot 3,7 = 3,33 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}.$$

$$R'_{0} = 3,33 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт} > R_{\text{req}} = 2,92 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}.$$

3. *Теплотехнический расчет кирпичной стены с утеплителем из минеральной ваты с облицовочным слоем из кирпича:*

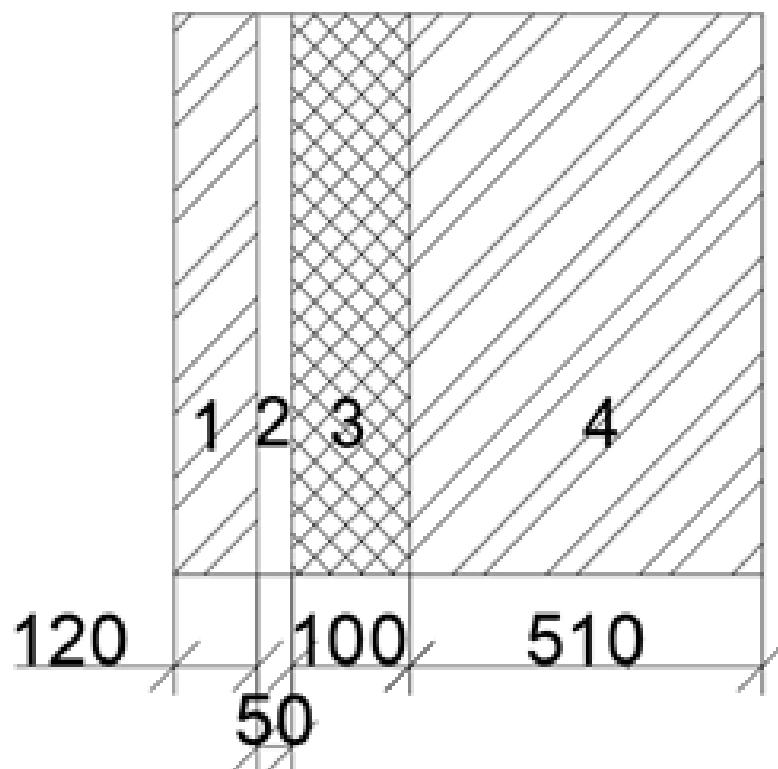


Рисунок 2.3 – Кирпичная стена с утеплением из минеральной ваты с облицовочным слоем из кирпича

Таблица 2.3 – Характеристики кирпичной стены с утеплением из минеральной ваты с облицовочным слоем из кирпича

№	Наименование	Толщина, м	Теплопр. λ , Вт/ (м·К)	Теплоусв. S , Вт/(м ² ·°C)
1	Кирпич	0,12	0,87	10,9
2	Воздушный зазор	0,05	0,17	-
3	Минеральная вата	0,1	0,039	0,32
4	Кирпич	0,51	0,87	10,9

Сопротивление теплопередаче R_o , м²·°C/Вт, ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями:

$$R_o = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,12/0,87 + 0,05/0,17 + 0,1/0,039 + 0,51/0,87 + 0,043 = 3,7 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт},$$

где $R_1, R_2, \dots, R_n$ - термические сопротивления отдельных слоев ($R = \delta/\lambda$), $R_{si} = 1/\alpha_v = 0,115$, $\alpha_v = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций [76].

$R_{se} = 1/\alpha_n = 0,043$, $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкций для условий холодного периода [76].

Коэффициент теплотехнической однородности стен из кирпича $r = 0,9$.

Тогда приведенное сопротивление теплопередаче кирпичных стен здания равно:

$$R_o^r = r \cdot R_o = 0,9 \cdot 3,7 = 3,33 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

$$R_o^r = 3,33 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} > R_{req} = 2,92 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

4. *Теплотехнический расчет кирпичной стены с утеплителем из пенополистирола с облицовочным слоем из кирпича:*

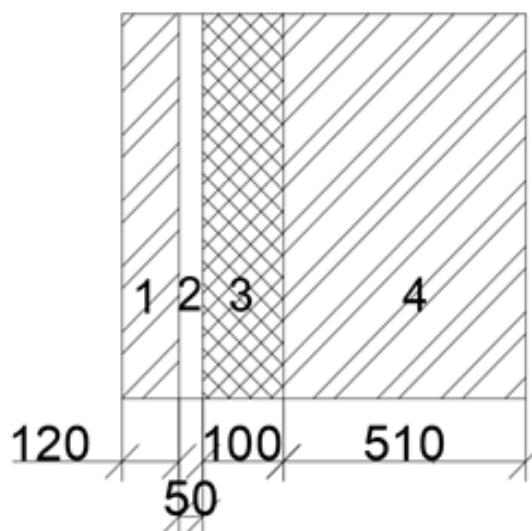


Рисунок 2.4 – Кирпичная стена с утеплением из пенополистирола с облицовочным слоем из кирпича

Таблица 2.4 – Характеристики кирпичной стены с утеплением из пенополистирола с облицовочным слоем из кирпича

№	Наименование	Толщина, м	Теплопр. λ , Вт/ (м·К)	Теплоусв. S, Вт/(м ² ·°C)
1	Кирпич	0,12	0,87	10,9
2	Воздушный зазор	0,05	0,17	-
3	Пенополистирол	0,1	0,033	0,32
4	Кирпич	0,51	0,87	10,9

Сопротивление теплопередаче R_o , м²·°C/Вт, ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями:

$$R_o = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,12/0,87 + 0,05/0,17 + 0,1/0,033 + 0,51/0,87 + 0,043 = 4,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт},$$

где $R_1, R_2, \dots, R_n$ - термические сопротивления отдельных слоев ($R = \delta/\lambda$), $R_{si} = 1/\alpha_{в} = 0,115$, $\alpha_{в} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций [76].

$R_{se} = 1/\alpha_n = 0,043$, $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода [76].

Коэффициент теплотехнической однородности стен из кирпича $r = 0,9$.

Тогда приведенное сопротивление теплопередаче кирпичных стен здания равно:

$$R'_{0} = r \cdot R_0 = 0,9 \cdot 4,2 = 3,78 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}.$$

$$R'_{0} = 3,78 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт} > R_{\text{req}} = 2,92 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}.$$

5. *Теплотехнический расчет кирпичной стены с утеплением из минеральной ваты по системе вентфасада:*

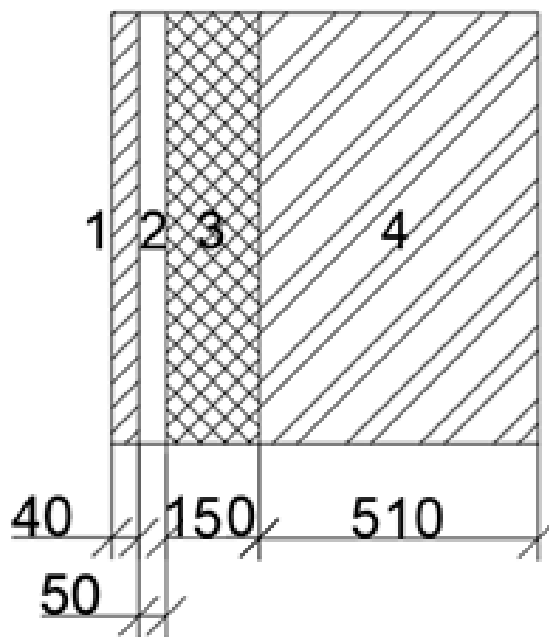


Рисунок 2.5 – Кирпичная стена с утеплением из минеральной ваты по системе вентфасада

Таблица 2.5 – Характеристики кирпичной стены с утеплением из минеральной ваты по системе вентфасада

№	Наименование	Толщина, м	Теплопр. λ , Вт/ (м·К)	Теплоусв. S , Вт/(м ² ·°С)
1	Металлокассеты	0,004	221	187,6
2	Воздушный зазор	0,05	0,17	-
3	Минеральная вата	0,15	0,042	17,98
4	Кирпич	0,51	0,87	10,9

Сопротивление теплопередаче R_o , м²·°С/Вт, ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями:

$$R_o = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,15/0,042 + 0,51/0,87 + 0,043 = 4,3 \text{ м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт},$$

где $R_1, R_2, \dots, R_n$ - термические сопротивления отдельных слоев ($R = \delta/\lambda$), $R_{si} = 1/\alpha_v = 0,115$, $\alpha_v = 8,7$ Вт/(м²·°С) - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций [76].

$R_{se} = 1/\alpha_n = 0,043$, $\alpha_n = 23$ Вт/(м²·°С) - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкций для условий холодного периода [76].

Коэффициент теплотехнической однородности стен из кирпича $r = 0,7$.

Тогда приведенное сопротивление теплопередаче кирпичных стен здания равно:

$$R_o^r = r \cdot R_o = 0,7 \cdot 4,3 = 3,01 \text{ м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт}.$$

$$R_o^r = 3,01 \text{ м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт} > R_{req} = 2,92 \text{ м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт}.$$

6. *Теплотехнический расчет кирпичной стены с утеплением из пенополистирола по системе вентфасада:*

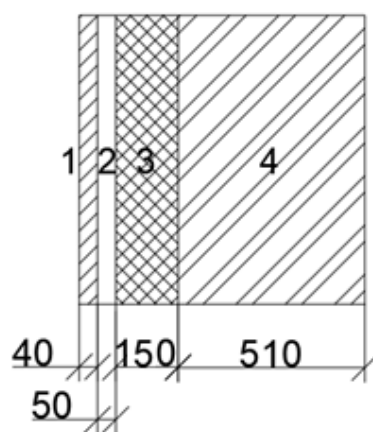


Рисунок 2.6 – Кирпичная стена с утеплением из пенополистирола по системе вентфасада

Таблица 2.6 – Характеристики кирпичной стены с утеплением из пенополистирола по системе вентфасада

№	Наименование	Толщина, м	Теплопр. λ , Вт/ (м·К)	Теплоусв. S, Вт/(м ² ·°C)
1	Металлокассеты	0,004	221	187,6
2	Воздушный зазор	0,05	0,17	-
3	Пенополистирол	0,15	0,033	17,98
4	Кирпич	0,51	0,87	10,9

Сопротивление теплопередаче R_o , м²·°C/Вт, ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями:

$$R_o = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,15/0,033 + 0,51/0,87 + 0,043 = 5,3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт},$$

где $R_1, R_2, \dots, R_n$ - термические сопротивления отдельных слоев ($R = \delta/\lambda$), $R_{si} = 1/\alpha_v = 0,115$, $\alpha_v = 8,7$ Вт/(м²·°C) - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций [76].

$R_{se} = 1/\alpha_n = 0,043$, $\alpha_n = 23$ Вт/(м²·°C) - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкций для условий холодного периода [76].

Коэффициент теплотехнической однородности стен из кирпича $r = 0,7$.

Тогда приведенное сопротивление теплопередаче кирпичных стен здания равно:

$$R_o = r \cdot R_0 = 0,7 \cdot 5,3 = 3,71 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

$$R_o = 3,71 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт} > R_{\text{req}} = 2,92 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

7) Сэндвич-панель с минераловатным утеплителем с облицовкой по системе вентфасад.

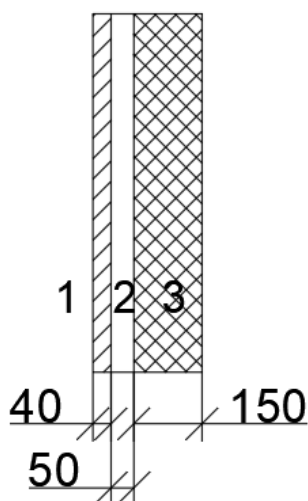


Рисунок 2.7 – Сэндвич-панель с минераловатным утеплителем с облицовкой по системе вентфасад.

Таблица 2.7 – Характеристики сэндвич-панели с минераловатным утеплителем с облицовкой по системе вентфасад

№	Наименование	Толщина, м	Теплопр. λ , Вт/ (м·К)	Теплоусв. S, Вт/(м ² ·°C)
1	Металлокассеты	0,004	221	187,6
2	Воздушный зазор	0,05	-	-
3	Сэндвич панель	0,15	0,042	17,98

Сопротивление теплопередаче R_o , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями:

$$R_o = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,15/0,042 + 0,043 = 3,7 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт},$$

где $R_1, R_2, \dots, R_n$ - термические сопротивления отдельных слоев ($R = \delta/\lambda$), $R_{si} = 1/\alpha_v = 0,115$, $\alpha_v = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций [76].

$R_{se} = 1/\alpha_n = 0,043$, $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкций для условий холодного периода [76].

Коэффициент теплотехнической однородности стен из кирпича $r = 1$.

Тогда приведенное сопротивление теплопередаче кирпичных стен здания равно:

$$R_o^r = r \cdot R_o = 1 \cdot 3,7 = 3,7 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

$$R_o^r = 3,7 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт} > R_{\text{req}} = 2,92 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

8) Сэндвич-панель с пенополистирольным утеплителем с облицовкой по системе вентфасад.

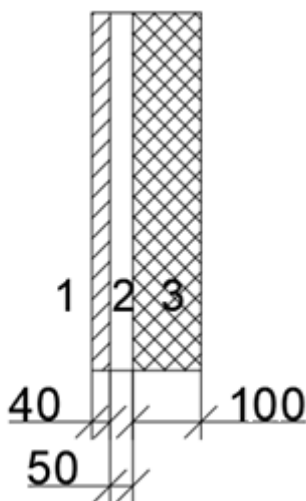


Рисунок 2.8 – Сэндвич-панель с пенополистирольным утеплителем с облицовкой по системе вентфасад

Таблица 2.8 – Характеристики сэндвич-панели с пенополистирольным утеплителем с облицовкой по системе вентфасад

№	Наименование	Толщина, м	Теплопр. λ , Вт/ (м·К)	Теплоусв. S, Вт/(м ² ·°C)
1	Металлокассеты	0,004	221	187,6
2	Воздушный зазор	0,05	-	-
3	Сэндвич-панель	0,1	0,032	17,98

Сопротивление теплопередаче R_o , м²·°C/Вт, ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями:

$$R_o = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,1/0,032 + 0,043 = 3,28 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$

где $R_1, R_2, \dots, R_n$ - термические сопротивления отдельных слоев ($R = \delta/\lambda$), $R_{si} = 1/\alpha_{в} = 0,115$, $\alpha_{в} = 8,7$ Вт/(м²·°C) - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций [76].

$R_{se} = 1/\alpha_{н} = 0,043$, $\alpha_{н} = 23$ Вт/(м²·°C) - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкций для условий холодного периода [76].

Коэффициент теплотехнической однородности стен из кирпича $r = 1$.

Тогда приведенное сопротивление теплопередаче кирпичных стен здания равно:

$$R_o^r = r \cdot R_o = 1 \cdot 3,28 = 3,28 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

$$R_o^r = 3,28 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт} > R_{req} = 2,92 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

В ходе проведения теплотехнического расчета были определены геометрические параметры 8 конструктивных схем многослойных стен. Данные параметры удовлетворяют требованиям по теплозащите зданий.

2.2 Расчет срока службы наружных стен с полимерсодержащим утеплителем по критерию теплозащиты.

Прогнозирование долговечности стен с полимерсодержащими утеплителями производится по методике, описанной в источнике [56]. Исходные данные приняты для города Абакан. Расчет производился при помощи программного комплекса Excel.

Конструктивные схемы многослойных стен:

- 1) Кирпичная стена с утеплением из пенополистирола по системе мокрый фасад:
- 2) Кирпичная стена с утеплением из пенополистирола с облицовочным слоем из кирпича:
- 3) Кирпичная стена с утеплением из пенополистирола по системе вентфасада:
- 4) Сэндвич-панель с пенополистирольным утеплителем с облицовкой по системе вентфасад.

1. Расчет долговечности кирпичной стены с утеплением из пенополистирола по системе мокрый фасад:

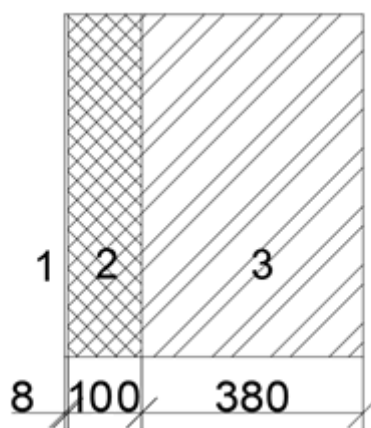


Рисунок 2.9 – Кирпичная стена с утеплением из пенополистирола по системе мокрый фасад

Таблица 2.9 – Характеристика кирпичной стены с утеплением из пенополистирола по системе мокрый фасад

№	Наименование	Толщина, м	Теплопр. λ , Вт/ (м·К)	Теплоусв. S, Вт/(м ² ·°C)
1	Штукатурный слой	0,008	0,26	8,48
2	Пенополистирол	0,1	0,033	0,32
3	Кирпич	0,38	0,87	10,9

Результаты расчета долговечности сведены в таблицу 2.10

Таблица 2.10 – Результаты расчета долговечности кирпичной стены с утеплением из пенополистирола по системе мокрый фасад

Ориентация	Ю	В(З)	ЮВ(ЮЗ)	СВ(СЗ)	С
Долговечность, лет	28	33	29	42	49

На основании результатов расчета можно заключить, что требуемая долговечность многослойной стены в 40-60 лет удовлетворяется с Северной, Северо-Западной и Северо-Восточной стороны здания. На остальных стенах потребуется увеличить толщину утеплителя на 10 %.

2. Расчет долговечности кирпичной стены с утеплителем из пенополистирола с облицовочным слоем из кирпича:

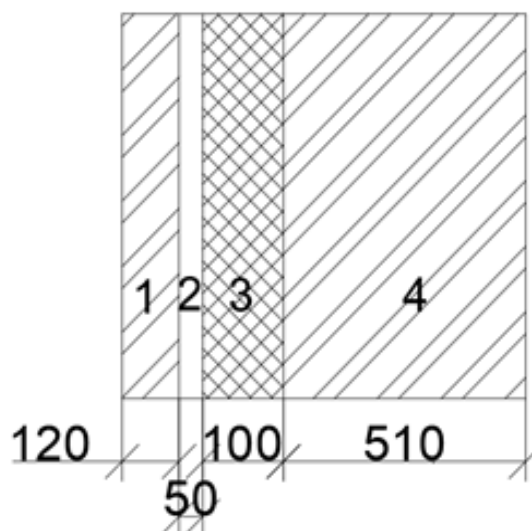


Рисунок 2.10 – Кирпичная стена с утеплением из пенополистирола с облицовочным слоем из кирпича

Таблица 2.11 – Характеристики кирпичной стены с утеплением из пенополистирола с облицовочным слоем из кирпича

№	Наименование	Толщина	Теплопр. λ	Теплоусв. s
1	Кирпич	0,12	0,87	10,9
2	Воздушный зазор	0,05	0,17	-
3	Пенополистирол	0,1	0,033	0,32
4	Кирпич	0,51	0,87	10,9

Результаты расчета долговечности сведены в таблицу 2.12

Таблица 2.12 – Результаты расчета долговечности кирпичной стены с утеплением из пенополистирола с облицовочным слоем из кирпича

Ориентация	Ю	В(З)	ЮВ(ЮЗ)	СВ(СЗ)	С
Долговечность, лет	37	44	39	57	67

На основании результатов расчета можно заключить, что требуемая долговечность многослойной стены в 40-60 лет удовлетворяется с Северной,

Северо-Западной и Северо-Восточной стороны здания. На остальных стенах потребуется увеличить толщину утеплителя на 10 %.

3. *Теплотехнический расчет кирпичной стены с утеплением из пенополистирола по системе вентфасада:*

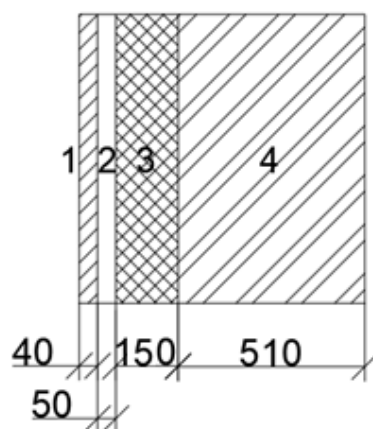


Рисунок 2.11 – Кирпичная стена с утеплением из пенополистирола по системе вентфасада

Таблица 2.13 – Характеристики кирпичной стены с утеплением из пенополистирола по системе вентфасада

№	Наименование	Толщина, м	Теплопр. λ , Вт/ (м·К)	Теплоусв. S, Вт/(м ² ·°С)
1	Металлокассеты	0,004	221	187,6
2	Воздушный зазор	0,05	0,17	-
3	Пенополистирол	0,15	0,033	0,32
4	Кирпич	0,51	0,87	10,9

Результаты расчета долговечности сведены в таблицу 2.14

Таблица 2.14 – Результаты расчета долговечности кирпичной стены с утеплением из пенополистирола по системе вентфасада

Ориентация	Ю	В(З)	ЮВ(ЮЗ)	СВ(СЗ)	С
Долговечность, лет	149	176	154	220	259

На основании результатов расчета можно заключить, что требуемая долговечность многослойной стены в 40-60 лет удовлетворяется. В данном случае при теплотехническом расчете применялся коэффициент неоднородности 0,7. Из-за этого количество утеплителя требуется больше, соответственно долговечность по критерию теплозащиты увеличивается.

4. *Сэндвич-панель с пенополистирольным утеплителем с облицовкой по системе вентфасад.*

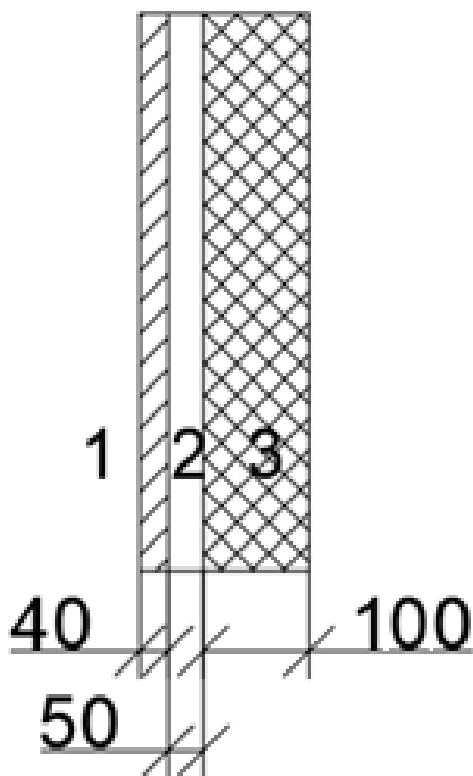


Рисунок 2.12 – Сэндвич-панель с пенополистирольным утеплителем с облицовкой по системе вентфасад

Таблица 2.15 – Характеристики сэндвич-панели с пенополистирольным утеплителем с облицовкой по системе вентфасад

№	Наименование	Толщина, м	Теплопр. λ , Вт/ (м·К)	Теплоусв. S , Вт/(м ² ·°С)
1	Металлокассеты	0,004	221	187,6
2	Воздушный зазор	0,05	-	-
3	Сэндвич-панель	0,1	0,032	17,98

Результаты расчета долговечности сведены в таблицу 2.16

Таблица 2.16 – Результаты расчета долговечности сэндвич панели с пенополистирольным утеплителем с облицовкой по системе вентфасад

Ориентация	Ю	В(З)	ЮВ(ЮЗ)	СВ(СЗ)	С
Долговечность, лет	6	8	7	10	12

На основании результатов расчета можно заключить, что требуемая долговечность многослойной стены в 40-60 лет не обеспечивается. Для достижения требуемой долговечности необходимо увеличить толщину утеплителя на 20%.

Также можно вывести зависимость долговечности от толщины утеплителя. В качестве конструкции для расчета принята трехслойная стена с несущим слоем из кирпича 380мм, утеплителя из пенополистирола 100мм и облицовки из штукатурного слоя 8мм. Расчет проводился по южной стороне, т.к. с других сторон долговечности конструкции по критерию потери теплозащиты составляет более 50 лет.

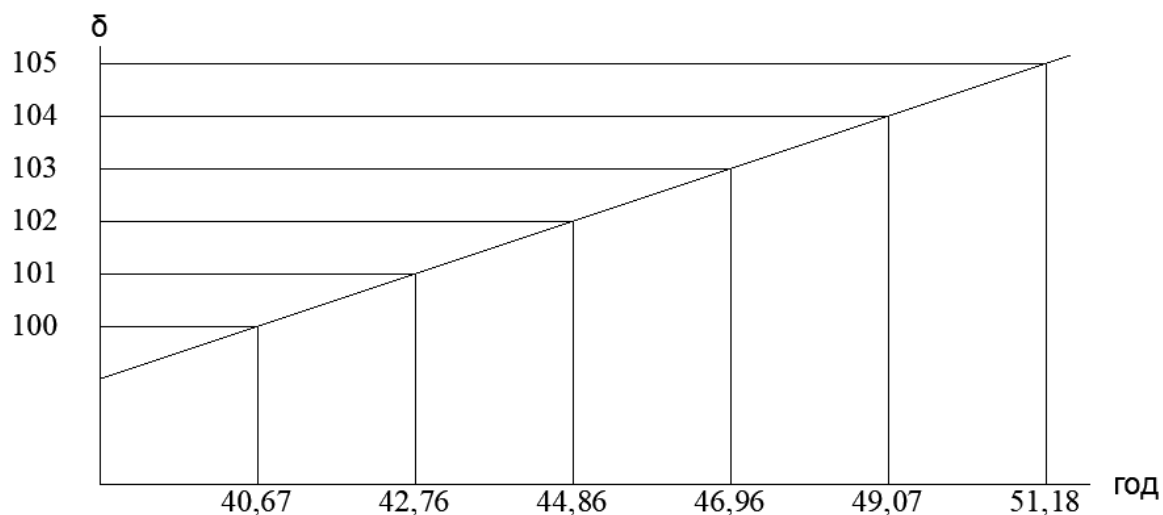


Рисунок 2.13 – График зависимости долговечности многослойной стены по критерию теплозащиты от толщины утеплителя

2.3 Выводы по второй главе

В ходе выполнения теплотехнических расчетов и расчетов на долговечность было выявлено, что толщину полистиролсодержащего утеплителя, полученную по расчету, необходимо увеличивать на 10-12%. Однако при использовании коэффициента неоднородности меньше или равного 0,8 толщины утеплителя по расчету достаточно для удовлетворения требования долговечности в 40-60 лет по критерию потери теплозащиты многослойной стены.

Глава 3. Натурное исследование температурного режима многослойной стены

В ходе исследования вопроса долговечности было определено, что существующая методика определения долговечности по морозостойкости не отражает реального эксплуатационного режима. Количество циклов попеременного замораживания-оттаивания в методике намного меньше, чем в реальных эксплуатационных условиях.

Для определения температурного режима и количества циклов попеременного замораживания-оттаивания были проведены натурные исследования в период с 25.09.2022 по 18.11.2022 г.

3.1 Характеристики экспериментальной площадки.

Место проведения натурных испытаний располагалось по адресу: Красноярский край, Каратузский район, с. Каратузское, ул. Щетинкина 7.

Для проведения натурных исследований были проведены работы по утеплению стены технического подвала индивидуального жилого дома.

Характеристики жилого дома:

Конструктивная схема – бескаркасная;

Фундаменты – ленточные бетонные шириной 300 мм;

Ограждающие стены – многослойная конструкция, состоящая из бруса, минеральной ваты, воздушного зазора и фасадной доски;

Перекрытие – деревянное;

Кровля – вальмовая стропильная;

В качестве утеплителя для стены технического подвала применялся пенопласт плотность 25кг/м^3 толщиной 100мм.

Климатические характеристики приняты для г. Абакан.

Для теплотехнических расчетов температура в техническом подвале принята 18°C .

Перед выполнением натурных испытаний был запроектирован узел (рисунок 3.1) и методика проведения работ по утеплению стены технического подвала.



Рисунок 3.1 – фрагмент стены технического подвала перед утеплением



Рисунок 3.2 – фрагмент утепления стены технического подвала

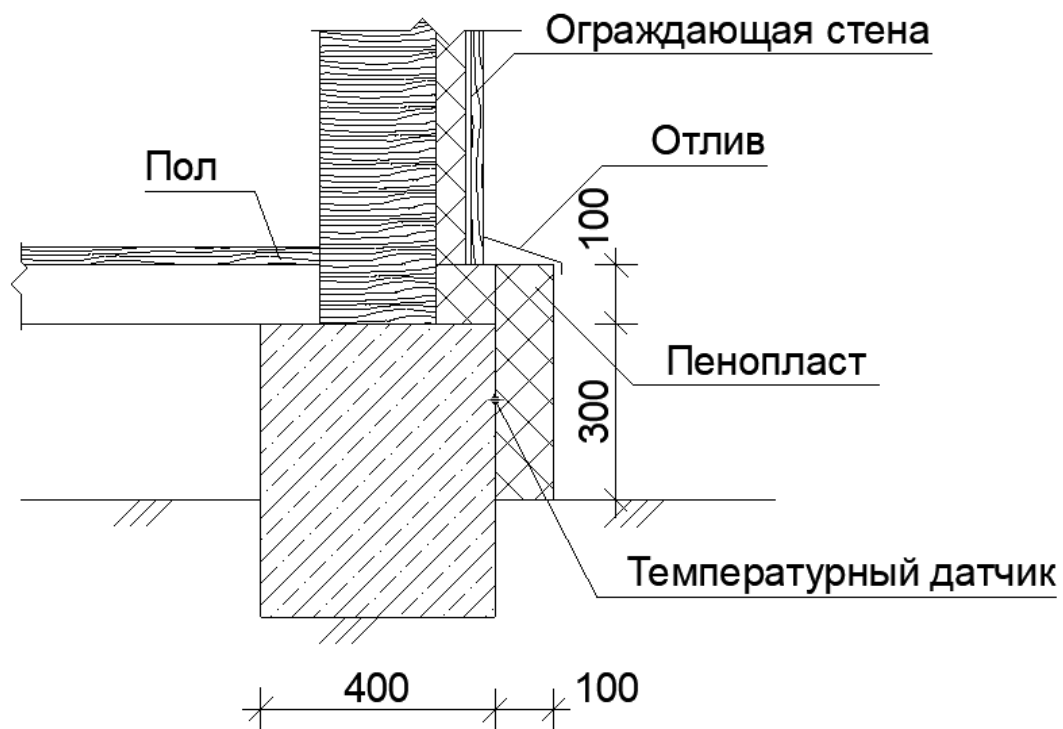


Рисунок 3.3 – Узел утепления стены технического подвала жилого здания
Теплотехнический расчет.

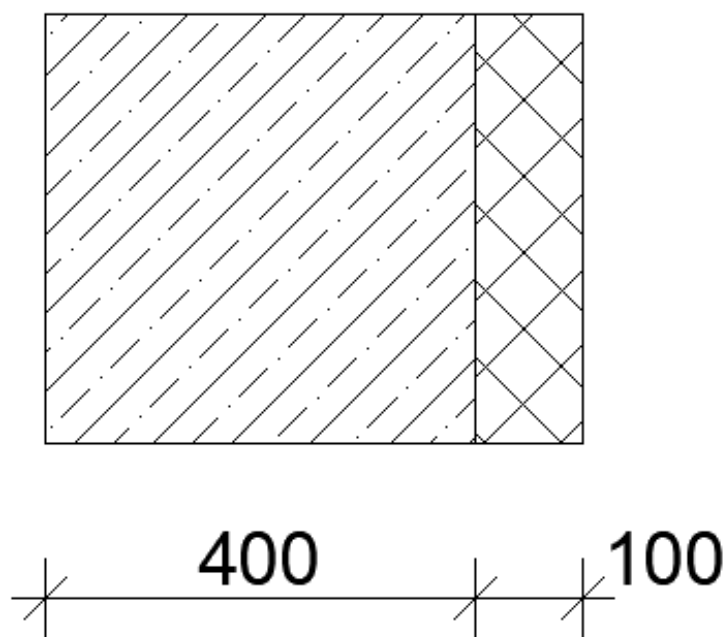


Рисунок 3.4 – Схема расчетной стены технического подвала

Таблица 3.1 – Характеристики расчетной стены технического подвала

№	Наименование	Толщина, м	Теплопр. λ , Вт/ (м·К)	Теплоусв. S, Вт/(м ² ·°C)
1	Бетон плотность 2,4 т/м ³	0,4	1,74	187,6
2	Пенопласт плотность 0.1 т/м ³	0,1	0,038	0,31

Сопротивление теплопередаче R_o , м²·°C/Вт, ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями:

$$R_o = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,4/1,74 + 0,1/0,038 + 0,043 = 3,02 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт},$$

где $R_1, R_2, \dots, R_n$ - термические сопротивления отдельных слоев ($R = \delta/\lambda$), $R_{si} = 1/\alpha_v = 0,115$, $\alpha_v = 8,7$ Вт/(м²·°C) - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций [76].

$R_{se} = 1/\alpha_n = 0,043$, $\alpha_n = 23$ Вт/(м²·°C) - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкций для условий холодного периода [76].

Коэффициент теплотехнической однородности стен из кирпича $r = 1$.

Тогда приведенное сопротивление теплопередаче кирпичных стен здания равно:

$$R_o^r = r \cdot R_o = 1 \cdot 3,02 = 3,02 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

$$R_o^r = 3,02 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт} > R_{req} = 2,92 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Конструкция стены удовлетворяет требованиям теплозащиты.

Методика производства работ.

Перед выполнением работ по утеплению стены необходимо очистить поверхность от грязи и пыли и установить температурный датчик.

Технология теплоизоляции стены технического подвала напоминает методику устройства «мокрых фасадов». Утеплитель закрепляют в два слоя

так, чтобы второй слой перекрывал стыки первого. Закрепления производятся при помощи тарельчатых дюбель-гвоздей и клей-пены, которые устанавливаются с расчетным шагом.

На первый слой утеплителя наносится клей-пена по всей поверхности приклеиваемой части материала. После твердения клея приклеивается второй слой.

После того, как клей наберет достаточную прочность при помощи перфоратора, просверливаются отверстия для тарельчатых дюбель гвоздей.

После монтажа утеплитель закрывается от атмосферных осадков оцинкованной сталью.

3.2 Результаты исследования теплового режима многослойной стены

По результатам выполненного эксперимента были получены данные о температуре воздуха, а также на внешней и внутренней границе утеплителя. По этим данным были построены график температур внешнего воздуха за исследуемый период (рисунок 4.3) и график распределения температур и определены зоны (рисунок 4.4).

В ходе исследования каждый день с последних чисел сентября до середины ноября 3 раза в день замерялась температура внутри помещения, наружного воздуха и на границе утеплителя и несущего слоя стены подвала.

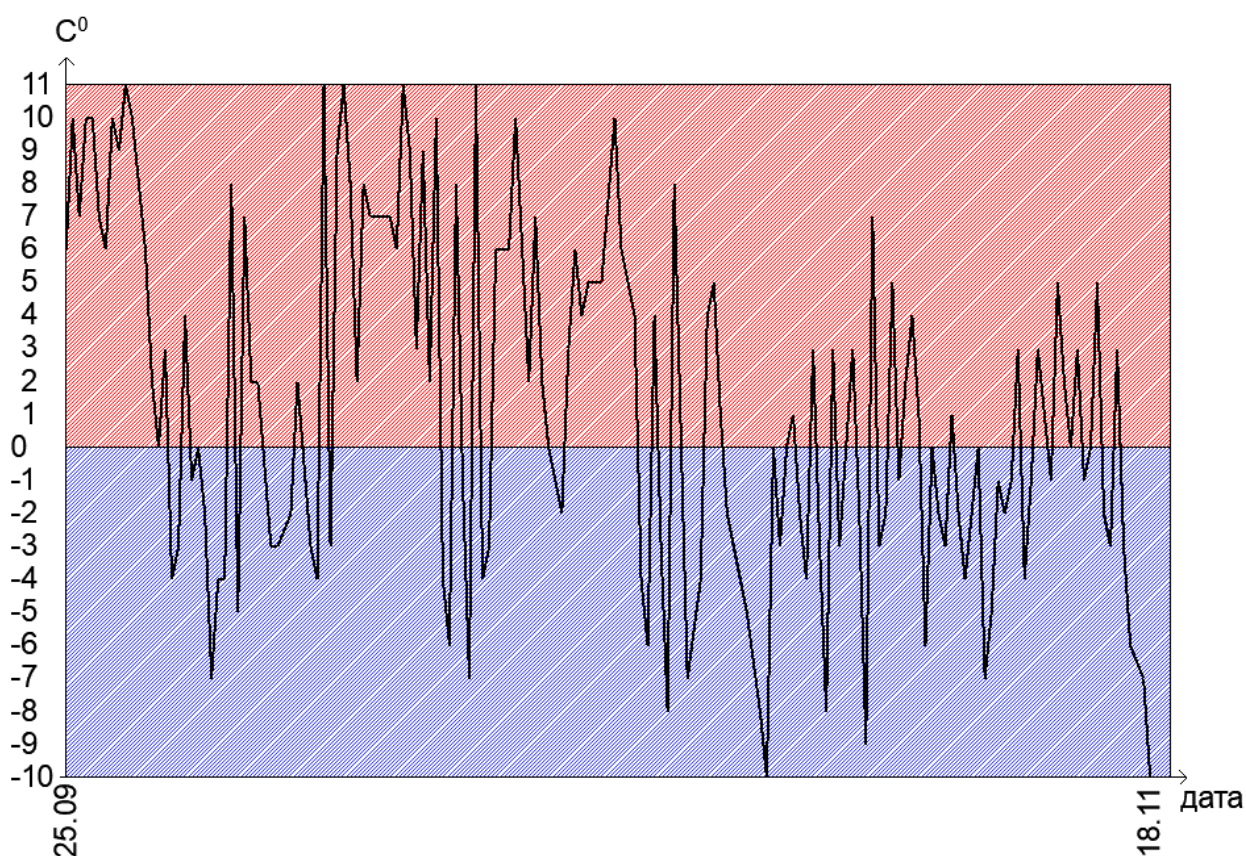


Рисунок 3.5 – График температур внешнего воздуха за исследуемый период

Момент замораживания происходит, когда график опускается ниже отметки $-2,5^{\circ}\text{C}$ [79].

Момент оттаивания происходит когда график поднимается выше отметки $-2,5^{\circ}\text{C}$ [79].

Поочередное прохождение графика через момент замораживания и оттаивания принимается за один цикл.

На рисунке – количество циклов составляет 25. Данное количество циклов происходит за осенний период. Примем, что за весенний период происходит тоже 25 циклов.

В соответствии с методикой определения долговечности материала по морозостойкости два цикла попеременного замораживания-оттаивания соответствуют одному году эксплуатации. Можно сказать, что один год лабораторного испытания равняется $1/25$ реального эксплуатационного года.

Однако испытания на морозостойкость проводится при полном влагонасыщении материала. Вентфасад исключает возможность накопления влаги в толще утеплителя, что приводит к вопросу, как прогнозировать долговечность, реальные эксплуатационные условия расходятся с лабораторными как в количестве циклов, так и в исходных характеристиках?

Для этого рассмотрим температурно-влажностный режим внутри утеплителя для определения зон подверженных накоплению влаги, замораживанию-оттаиванию и зон практически неподдержанных разрушению.

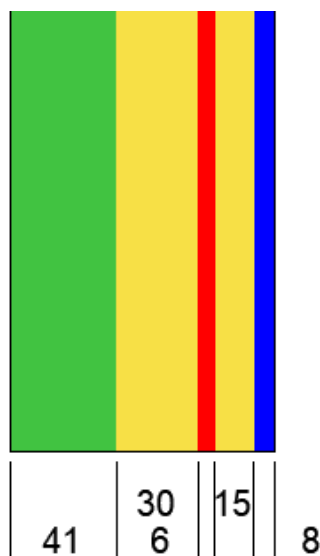


Рисунок 3.6 – Распределение зон замораживания и оттаивания экспериментального образца утеплителя,

где: зеленый – зона постоянной положительной температуры
 желтый – зона умеренной миграции нулевой температуры в толще материала
 красный – зона частой миграции нулевой температуры в толще материала
 синий – зона постоянных отрицательных температур

В зоне с постоянными положительными и отрицательными температурами, количество циклов замораживания и оттаивания практически совпадает с количеством указанным в методике определения долговечности по морозостойкости. Поэтому эти зоны удовлетворяют заявленному производителем сроку службы. В таком случае в качестве коэффициента теплопроводности принимаем коэффициент теплопроводности материала.

В зоне умеренной миграции нулевой температуры в толще материала увеличиваем коэффициент теплопроводности в 2,5 раз [79]. В процессе эксплуатации материал подвергается большему количеству циклов, чем заявлено в методике, но меньшему чем показали исследования.

В зоне частой миграции нулевой температуры в толще материала увеличиваем коэффициент теплопроводности в 2,5 раз [79].

Для определения требуемой толщины утеплителя с учетом требований долговечности необходимо провести теплотехнический расчет с учетом вышеизложенных изменений.

Выводы по проведению натурного эксперимента: Полученные данные из натурных исследований подтверждают, что количество циклов замораживания-оттаивания принятых в методиках не соответствуют реальному количеству. Так в методиках определения долговечности утеплителей по ГОСТ 12091-2011 и ГОСТ Р 57418-2017 количество циклов принято 2, что приравнивается к одному году эксплуатации. В экспериментальных данных количество циклов замораживания-оттаивания только за осенний период более 20.

Таким образом для более точного определения долговечности утеплителей необходимо приравнивать 20 циклов замораживания-оттаивания к одному году эксплуатации.

В работе [79] доказано что на долговечность влияет не продолжительность замораживания, а количество циклов. Поэтому также в методике по ГОСТ 12091-2011 и ГОСТ Р 57418-2017 необходимо уменьшать время замораживания.

В работе [79] доказано что уже через 15 лет эксплуатации коэффициент теплопроводности минеральной ваты увеличивается в 2,5 раза. Если провести теплотехнический расчет с применением увеличенного коэффициента – стена не будет удовлетворять требованиям теплозащиты. Но применять увеличение коэффициента на всю толщину утеплителя не

целесообразно т.к. по полученным из эксперимента данным видно, что часть утеплителя находится в постоянных положительных температурах и не подвергается влиянию замораживания-оттаивания. Так как замораживание-оттаивание является самым разрушающим фактором для минваты можно сказать что в зоне положительных температур данный материал практически не подвержен старению. Таким образом при проведение теплотехнического расчета необходимо увеличивать коэффициент теплопроводности только для зоны постоянных отрицательных температур. Эта зона будет находиться с внешней стороны многослойной стены до точки со значением 0°C .

Для определения толщины зоны постоянных отрицательных температур необходимо построить график распределения температур по [80] и измерить толщину утеплителя от точки со значением 0°C до внешней границы утеплителя.

Далее необходимо провести теплотехнический расчет с учетом увеличения коэффициента теплопроводности утеплителя в зоне постоянных отрицательных температур. При несоответствии требованиям теплозащиты необходимо увеличить толщину утеплителя в зоне постоянных положительных температур. Окончательную толщину утеплителя округлить до 10мм в большую сторону.

3.3 Теплотехнический расчет с учетом снижения теплозащитных свойств утеплителя в ходе эксплуатации

Для теплотехнического расчета с учетом ухудшения теплозащитных свойств утеплителя в ходе эксплуатации необходимо принять перечень упрощающих расчет условий

- 1) Угол наклона линии в слое утеплителя в графике распределения температур считать неизменным в период эксплуатации;
- 2) Зону положительных температур считать до пересечения линии график распределения температур отметки в 0°C ;

- 3) Коэффициент теплопроводности в зоне положительных температур считать неизменным;
- 4) При необходимости увеличить толщину утеплителя по теплотехническому расчету, необходимую величину прибавлять к зоне постоянных положительных температур.

Для проведения теплотехнического расчета с учетом ухудшения теплозащитных свойств утеплителя в ходе эксплуатации приняты следующие конструктивные схемы многослойных стен:

- 1) Кирпичная стена с утеплением из минеральной ваты по системе мокрый фасад:
- 2) Кирпичная стена с утеплением из минеральной ваты с облицовочным слоем из кирпича:
- 3) Кирпичная стена с утеплением из минеральной ваты по системе вентфасада:
- 4) Сэндвич-панель с минераловатным утеплителем с облицовкой по системе вентфасад.

1. *Теплотехнический расчет кирпичной стены с утеплением из минеральной ваты по системе мокрый фасад:*

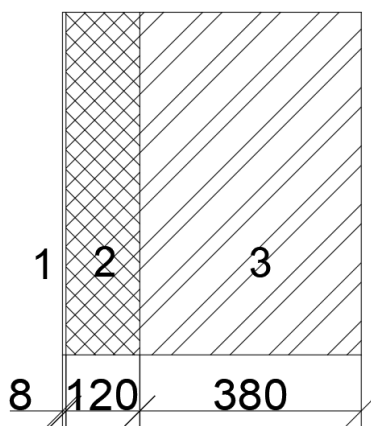


Рисунок 3.5 – Кирпичная стена с утеплением из минеральной ваты по системе мокрый фасад

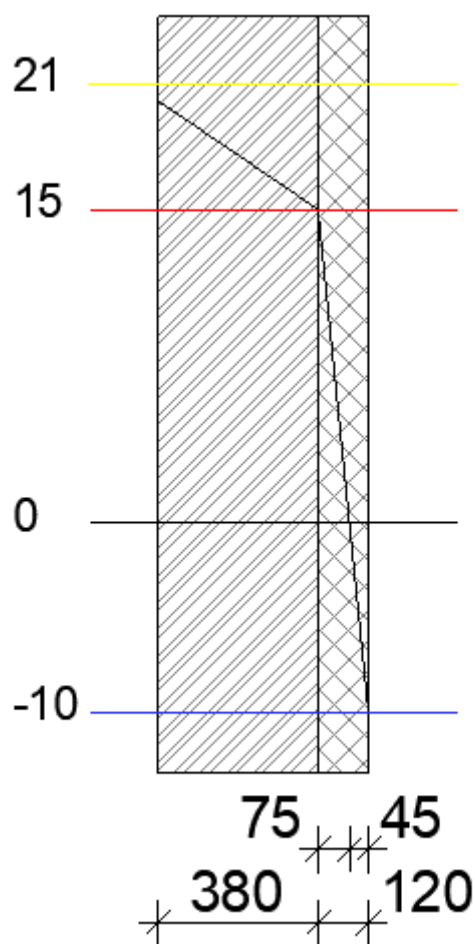


Рисунок 3.6 – График распределения температур в слое утеплителя кирпичной стены с утеплением из минеральной ваты по системе мокрый фасад

Таблица 3.2 – Характеристики кирпичной стены с утеплением из минеральной ваты по системе мокрый фасад

№	Наименование	Толщина, м	Теплопр. λ , Вт/ (м·К)	Теплоусв. S, Вт/(м ² ·°C)
1	Штукатурный слой	0,008	0,26	8,48
2	Минеральная вата	0,045	0,0975	0,32
4	Минеральная вата	0,075	0,039	0,32
5	Кирпич	0,38	0,87	10,9

Сопротивление теплопередаче R_o , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями:

$$R_o = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,008/0,26 + 0,045/0,0975 + 0,075/0,039 + 0,38/0,87 + 0,043 = 3,01 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт},$$

где $R_1, R_2, \dots, R_n$ - термические сопротивления отдельных слоев ($R = \delta/\lambda$), $R_{si} = 1/\alpha_v = 0,115$, $\alpha_v = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций [76].

$R_{se} = 1/\alpha_n = 0,043$, $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкций для условий холодного периода [76].

Коэффициент теплотехнической однородности стен из кирпича $r = 0,9$.

Тогда приведенное сопротивление теплопередаче кирпичных стен здания равно:

$$R_o^r = r \cdot R_o = 0,9 \cdot 3,01 = 2,71 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

$$R_o^r = 3,33 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт} < R_{\text{req}} = 2,92 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Требуемое сопротивление теплопередаче не удовлетворяет условию теплозащиты, необходимо увеличить толщину утеплителя на 10 мм.

Сопротивление теплопередаче R_o , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями:

$$R_o = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,008/0,26 + 0,045/0,0975 + (0,075 + 0,1)/0,039 + 0,38/0,87 + 0,043 = 3,27 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт},$$

$$R_o^r = r \cdot R_o = 0,9 \cdot 3,27 = 2,94 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

$$R_o^r = 2,94 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт} > R_{\text{req}} = 2,92 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Требуемое сопротивление теплопередаче удовлетворяет требованию теплозащиты. При применении утеплителя толщиной 130 мм ограждающая конструкция будет удовлетворять требованию теплозащиты на протяжении 50 лет.

2. Теплотехнический расчет кирпичной стены с утеплителем из минеральной ваты с облицовочным слоем из кирпича:

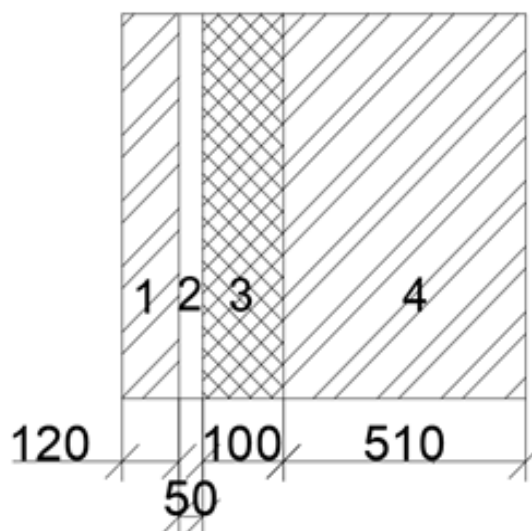


Рисунок 3.7 – Кирпичная стена с утеплением из минеральной ваты с облицовочным слоем из кирпича

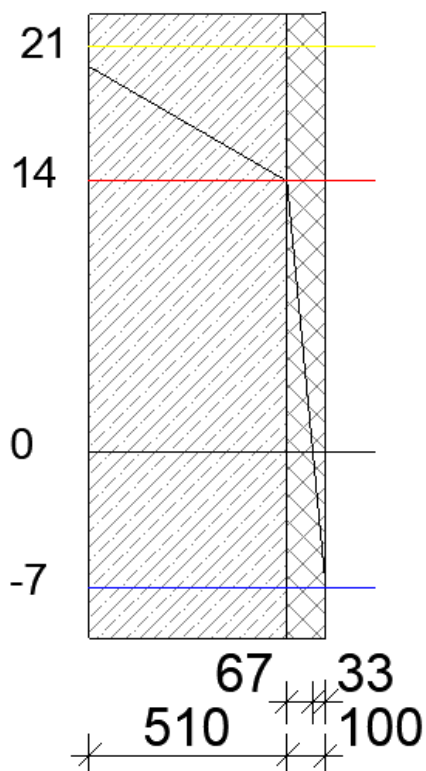


Рисунок 3.8– График распределения температур в слое утеплителя кирпичной стены с утеплением из минеральной ваты с облицовочным слоем из кирпича

Таблица 3.3 – Характеристики кирпичной стены с утеплением из минеральной ваты с облицовочным слоем из кирпича

№	Наименование	Толщина, м	Теплопр. λ , Вт/ (м·К)	Теплоусв. S, Вт/(м ² ·°C)
1	Кирпич	0,12	0,87	10,9
2	Воздушный зазор	0,05	0,17	-
3	Минеральная вата	0,033	0,0975	0,32
		0,067	0,039	
4	Кирпич	0,51	0,87	10,9

Сопротивление теплопередаче R_o , м²·°C/Вт, ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями:

$$R_o = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,12/0,87 + 0,05/0,17 + 0,033/0,0975 + 0,067/0,039 + 0,51/0,87 + 0,043 = 2,89 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт},$$

где $R_1, R_2, \dots, R_n$ - термические сопротивления отдельных слоев ($R = \delta/\lambda$), $R_{si} = 1/\alpha_v = 0,115$, $\alpha_v = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций [76].

$R_{se} = 1/\alpha_n = 0,043$, $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкций для условий холодного периода [76].

Коэффициент теплотехнической однородности стен из кирпича $r = 0,9$.

Тогда приведенное сопротивление теплопередаче кирпичных стен здания равно:

$$R_o^r = r \cdot R_o = 0,9 \cdot 2,89 = 2,6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

$$R_o^r = 2,6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} < R_{req} = 2,92 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Требуемое сопротивление теплопередаче не удовлетворяет условию теплозащиты, необходимо увеличить толщину утеплителя на 20мм.

Сопротивление теплопередаче R_o , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями:

$$R_o = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,12/0,87 + 0,05/0,17 + 0,033/0,0975 + (0,067 + 0,02)/0,039 + 0,51/0,87 + 0,043 = 3,4 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт},$$

$$R_o^r = r \cdot R_o = 0,9 \cdot 3,4 = 3,06 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

$$R_o^r = 3,06 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт} > R_{\text{req}} = 2,92 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Требуемое сопротивление теплопередаче удовлетворяет требованию теплозащиты. При применении утеплителя толщиной 120 мм ограждающая конструкция будет удовлетворять требованию теплозащиты на протяжении 50 лет.

3. *Теплотехнический расчет кирпичной стены с утеплением из минеральной ваты по системе вентфасада:*

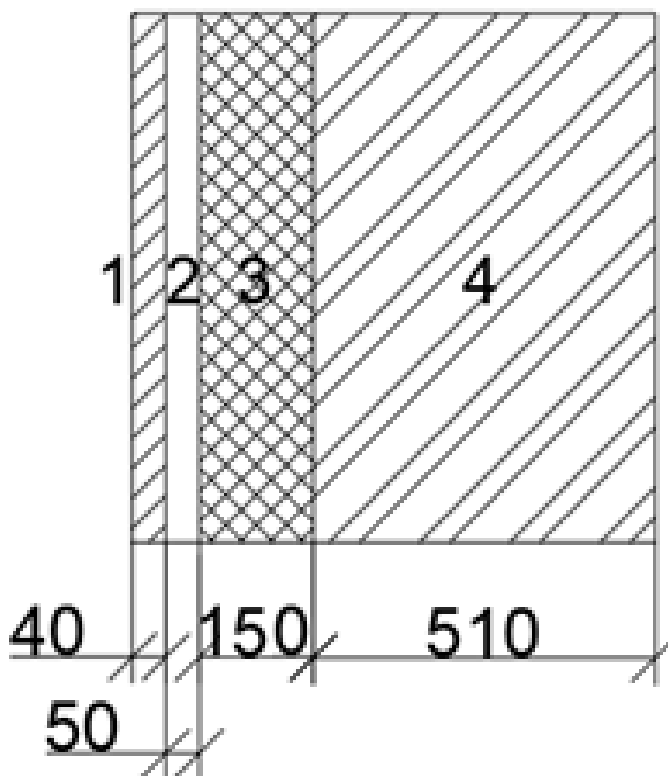


Рисунок 3.9 – Кирпичная стена с утеплением из минеральной ваты по системе вентфасада

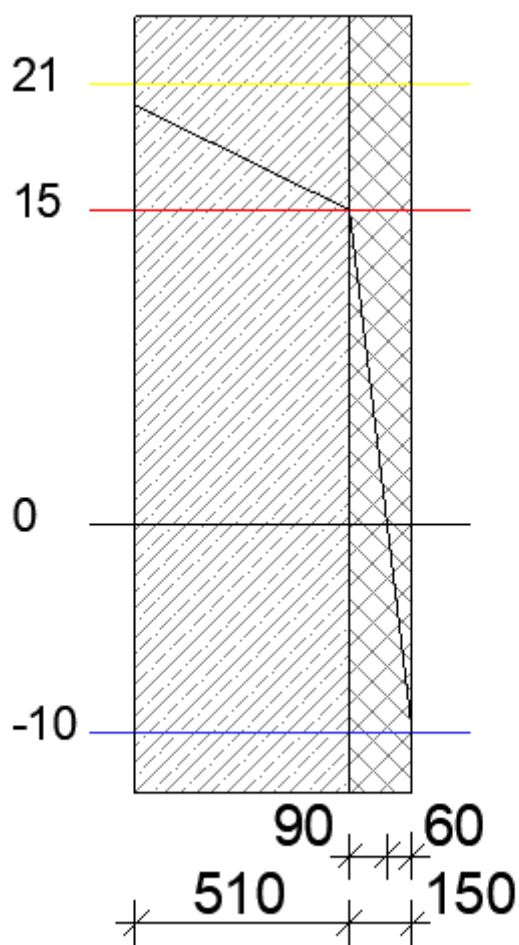


Рисунок 3.10 - График распределения температур в слое утеплителя кирпичной стены с утеплением из минеральной ваты по системе вентфасада

Таблица 3.4 – Характеристики кирпичной стены с утеплением из минеральной ваты по системе вентфасада

№	Наименование	Толщина, м	Теплопр. $\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	Теплоусв. $S, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
1	Металлокассеты	0,004	221	187,6
2	Воздушный зазор	0,05	0,17	-
3	Минеральная вата	0,06	0,0975	17,98
	Минеральная вата	0,09	0,039	
4	Кирпич	0,51	0,87	10,9

Сопротивление теплопередаче R_o , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями:

$$R_o = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,06/0,0975 + 0,09/0,039 + 0,51/0,87 + 0,043 = 3,67 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт},$$

где $R_1, R_2, \dots, R_n$ - термические сопротивления отдельных слоев ($R = \delta/\lambda$), $R_{si} = 1/\alpha_v = 0,115$, $\alpha_v = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций [76].

$R_{se} = 1/\alpha_n = 0,043$, $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкций для условий холодного периода [76].

Коэффициент теплотехнической однородности стен из кирпича $r = 0,7$.

Тогда приведенное сопротивление теплопередаче кирпичных стен здания равно:

$$R_o^r = r \cdot R_o = 0,7 \cdot 3,67 = 2,57 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

$$R_o^r = 2,57 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт} < R_{\text{req}} = 2,92 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Требуемое сопротивление теплопередаче не удовлетворяет условию теплозащиты, необходимо увеличить толщину утеплителя на 20 мм.

Сопротивление теплопередаче R_o , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями:

$$R_o = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,06/0,0975 + (0,09 + 0,02)/0,039 + 0,51/0,87 + 0,043 = 4,18 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт},$$

$$R_o^r = r \cdot R_o = 0,7 \cdot 4,18 = 2,93 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

$$R_o^r = 2,93 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт} > R_{\text{req}} = 2,92 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Требуемое сопротивление теплопередаче удовлетворяет требованию теплозащиты. При применении утеплителя толщиной 170 мм ограждающая конструкция будет удовлетворять требованию теплозащиты на протяжении 50 лет.

4) Сэндвич-панель с минераловатным утеплителем с облицовкой по системе вентфасад.

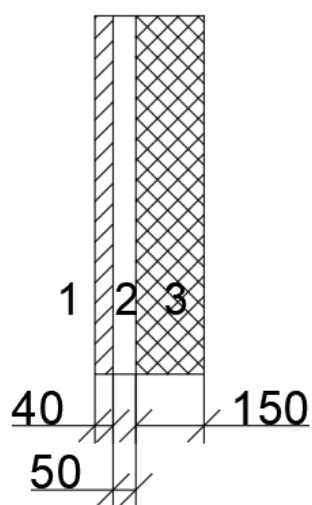


Рисунок 3.11 – Сэндвич-панель с минераловатным утеплителем с облицовкой по системе вентфасад.

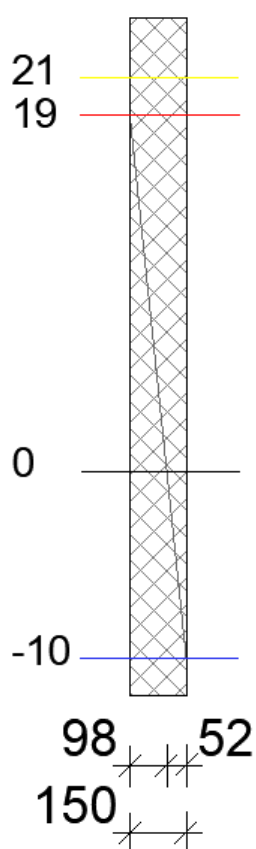


Рисунок 3.12 - График распределения температур в слое утеплителя сэндвич панели с минераловатным утеплителем с облицовкой по системе вентфасад.

Таблица 3.5 – Характеристики сэндвич - панели с минераловатным утеплителем с облицовкой по системе вентфасад

№	Наименование	Толщина, м	Теплопр. λ , Вт/ (м·К)	Теплоусв. S, Вт/(м ² ·°C)
1	Металлокассеты	0,004	221	187,6
2	Воздушный зазор	0,05	-	-
3	Сэндвич панель	0,052	0,105	17,98
4	Сэндвич панель	0,098	0,042	17,98

Сопротивление теплопередаче R_o , м²·°C/Вт, ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями:

$$R_o = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,052/0,105 + 0,098/0,042 + 0,043 = 2,99 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт},$$

где $R_1, R_2, \dots, R_n$ - термические сопротивления отдельных слоев ($R = \delta/\lambda$), $R_{si} = 1/\alpha_v = 0,115$, $\alpha_v = 8,7$ Вт/(м²·°C) - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций [76].

$R_{se} = 1/\alpha_n = 0,043$, $\alpha_n = 23$ Вт/(м²·°C) - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкций для условий холодного периода [76].

Коэффициент теплотехнической однородности стен из кирпича $r = 1$.

Тогда приведенное сопротивление теплопередаче кирпичных стен здания равно:

$$R_o^r = r \cdot R_o = 1 \cdot 2,99 = 2,99 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

$$R_o^r = 2,99 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} > R_{req} = 2,92 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Требуемое сопротивление теплопередаче удовлетворяет требованию теплозащиты. При применении сэндвич-панели толщиной 150 мм ограждающая конструкция будет удовлетворять требованию теплозащиты на протяжении 50 лет.

3.4 Выводы по третьей главе

В ходе исследования проблемы прогнозирования долговечности были выявлены несоответствия методик определения долговечности утеплителей.

Для минераловатных утеплителей наиболее достоверной методикой является определение долговечности по морозостойкости. Однако данные методики не соответствуют реальным эксплуатационным условиям резко-континентального климата. Для подтверждения данного утверждения были проведены натурные испытания.

После обработки полученных данных было определено, что количество циклов попеременного замораживания-оттаивания в осенний период составляет 20 циклов.

Однако знание того, что методика не соответствует эксплуатационным условиям, не решает проблему выхода из строя по критерию теплозащиты раньше заложенного проектом срока.

Для решения оговоренной проблемы была разработана методика проведения теплотехнического расчета с учетом износа минераловатного утеплителя.

В период эксплуатации часть утеплителя не подвергается влиянию попеременного замораживания-оттаивания, так как находится всегда в положительной температуре. В таких условиях минераловатные утеплители не подвергаются разрушению. Однако со стороны отрицательных температур материал выходит из строя по критерию теплопроводности раньше заложенного проектом срока. Для того, чтобы учесть данную особенность материала, необходимо в ходе проведения теплотехнического расчета разделить утеплитель на две зоны. Со стороны положительной температуры коэффициент теплопроводности остается неизменным. Со стороны отрицательных температур коэффициент теплопроводности увеличивается в 2,5 раз [79].

В ходе выполнения теплотехнических расчетов различных конструкций по разработанной методике было выявлено, что при увеличении толщины утеплителя на 10-20 мм. конструкция будет удовлетворять требованию теплозащиты в течении 50 лет.

Также можно вывести зависимость коэффициента теплопроводности от толщины утеплителя. В качестве конструкции для расчета принята трехслойная стена с несущим слоем из кирпича 380мм, утеплителя из минваты 120мм и облицовки из штукатурного слоя 8мм.

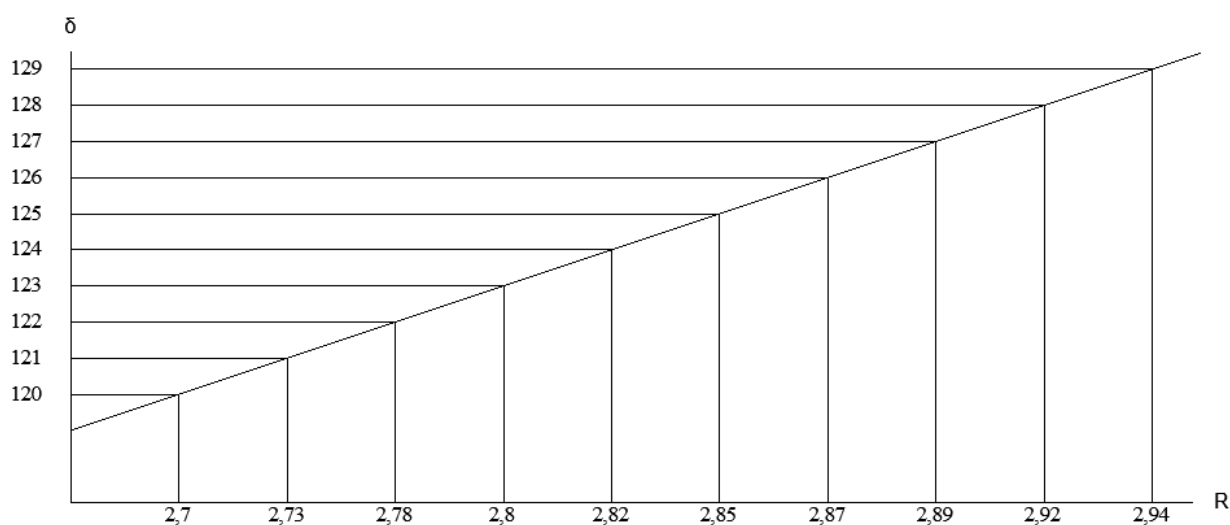


Рисунок 3.15 – График зависимости расчетного сопротивления теплопередаче многослойной стены от толщины утеплителя

Глава 4. Выводы и рекомендации

4.1 Обобщающие выводы по теме прогнозирования долговечности многослойных стен зданий.

Изучение проблемы прогнозирования долговечности многослойных стен была ограничена следующими рамками:

- проблема прогнозирования долговечности изучалась только по критерию потери теплопроводности;
- были приняты условия только резко-континентального климата;
- материалы конструкций выбирались на основании анализа, и для исследования использовались наиболее распространенные.

С учетом изложенных ограничений был проведен литературный обзор и определены недостатки в изучении вопроса прогнозирования долговечности многослойных стен по критерию теплозащиты:

- методика прогнозирования долговечности утеплителей по морозостойкости не соответствует реальным эксплуатационным условиям
- нет четкого определения, по какой методике стоит определять долговечность абсолютно разных по своей структуре материалов.
- отсутствует методика определения долговечности многослойных стен при воздействии фактора попеременного замораживания-оттаивания.

Для определения реальных эксплуатационных условий был проведен натурный эксперимент. Полученные данные подтверждают, что количество циклов в осенний период превышает рассматриваемое в методике.

Также существующие методики определения долговечности утеплителей рассматривают только несущую способность материала, что в корне неверно. Достижение предела по теплозащите материала происходит раньше, чем достижение предела по несущей способности. Поэтому при определении долговечности теплоизоляционных материалов необходимо в первую очередь обращать внимание на уменьшение теплозащитных свойств.

Однако определение долговечности теплоизоляционных материалов по морозостойкости подходит не для всех видов утеплителей. Органические, а в частности полистиролсодержащие утеплители мало подвержены накоплению влаги, а значит, влияние замораживания-оттаивания оказывает на них минимальный эффект. Правильное применение методик определения долговечности теплоизоляционных материалов позволит точнее определять их срок службы, определить периоды капитальных ремонтов.

4.2 Методика проведения теплотехнического расчета с учетом долговечности.

Несмотря на то, что утеплители имеют долговечность меньше, чем остальные слои в конструкции многослойных стен, по критерию теплопроводности многослойные стены имеют значение больше отдельно взятого утеплителя.

При рассмотрении взаимной работы многослойной конструкции была создана методика проведения теплотехнического расчета с учетом долговечности утеплителя. Стоит заметить, что на данный момент методика применима только к минераловатным утеплителям.

Основа идеи заключается в том, что в период эксплуатации влиянию попеременного замораживания-оттаивания подвергается не весь утеплитель, а только часть, на которую воздействуют отрицательные температуры. Часть со стороны положительных температур не подвергается разрушению.

Порядок выполнения теплотехнического расчета:

- 1) Провести теплотехнический расчет многослойной конструкции и подобрать толщину утеплителя.
- 2) Построить график распределения температур в слое утеплителя.
- 3) Разделить утеплитель на две зоны. Точкой деления будет являться нулевая температура.

- 4) Для зоны с положительной температурой оставить коэффициент теплопроводности без изменений. Для зоны с отрицательными температурами коэффициент теплопроводности увеличить в 2,5 раза.
- 5) Провести повторный теплотехнический расчет. При необходимости добавить 10-20 мм утеплителя со стороны положительной температуры.

Список использованных источников

1) Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений"[Электронный ресурс]. - Введ. 02-07-2013 // электрон. фонд правовой и нормативно-технич. документации «Техэксперт». - Электрон. текстовые дан. - Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/902192610>

2) Кнатько М.В., Ефименко М.Н., Горшков А.С. К вопросу о долговечности и энергоэффективности современных ограждающих стеновых конструкций жилых, административных и производственных зданий // Инженерно-строительный журнал. - 2008. - № 2.

3) Куприянов В.Н., Иванцов А.И. К вопросу о долговечности многослойных ограждающих конструкций // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. - 2011. - № 3 (17). - С. 63-76.

4) СТО 00044807-001-2006 «Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий» [Электронный ресурс]. - Введ. 21-02-2006 // электрон. фонд правовой и нормативно-технич. документации «Техэксперт». - Электрон. текстовые дан. - Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200043659>

5) Гордеева Т.Е., Широков В.С. О планировании капитального ремонта жилых домов // Промышленное и гражданское строительство. - 2015. - № 9. С. 101-104.

6) Рогов В. А., Свинцов А. П., Сидоренко С. Н. Конструктивные и технологические особенности применения облицовочных панелей вентилируемых фасадов из синтегранна //Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2010. – №. 3. – С. 60-80.

7) Ступаков А. А. Обследование и мониторинг вентилируемого фасада с облицовкой плитами из натурального гранита //Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – №. 5. – С. 530-533.

8) Фролова И.Г., Фролов С.В. Нарушение температурно-влажностного режима – фактор снижения безопасности // Градостроительство и архитектура. - 2013. - № 3 (11). С. 108-112.

9) Гагарин В. Г., Козлов В. В. Методика проверки выпадения конденсата в воздушном зазоре вентилируемого фасада //Строительная физика в XXI веке». Научно-техническая конференция посвященная. – 2006. – С. 73-80.

10) Молотков Г. С., Подтёлков В. В. Основные причины разрушения конструкций навесных вентилируемых фасадов «СИАЛ КМ» и рекомендации по их устранению //Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – №. 107. – С. 1579-1600.

11) Воробьев В. С., Запашикова Н. П. Оценка технического состояния навесных фасадных систем как инструмент энергосбережения и повышения энергетической эффективности зданий //Вестник евразийской науки. – 2015. – Т. 7. – №. 3 (28). – С. 94.

12) Бессонов И.В. Исследование стойкости фасадных систем наружного утепления с тонким штукатурным слоем к температурно-влажностным воздействиям // Сборник «Труды I Всероссийской научно-технической конференции» (Строительная теплотехника: актуальные вопросы нормирования). – СПб., 2008. – С. 199-207.

13) Бессонов И.В. Фасады тонкие, но стойкие... // Строительство, 2008, № 10. – С. 123-125.

14) лобов О. И., Ананьев А. И. Долговечность облицовочных слоев наружных стен многоэтажных зданий с повышенным уровнем теплоизоляции //Строительные материалы. – 2008. – №. 4. – С. 56-59.

15) ГОСТ 10060.1-95. «Бетоны. Базовый метод определения морозостойкости» [Электронный ресурс]. - Введ. 01-09-1996 // электрон. фонд правовой и нормативно-технич. документации «Техэксперт». - Электрон. текстовые дан. - Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/871001055>

16) ГОСТ 9.908-85. «Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости» [Электронный ресурс]. - Введ. 01-01-1987 // электрон. фонд правовой и нормативно-технич. документации «Техэксперт». - Электрон. текстовые дан. - Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200007383>

17) ГОСТ 19100-73. «Метод испытания клеевых соединения на атмосферостойкость» [Электронный ресурс]. - Введ. 01-01-1974 // электрон. фонд правовой и нормативно-технич. документации «Техэксперт». - Электрон. текстовые дан. - Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901705214>

18) РВСН 20-01-2006. «Защита строительных конструкций, зданий и сооружений от агрессивных химических и биологических воздействий окружающей среды» [Электронный ресурс]. - Введ. 01-06-2006 // электрон. фонд правовой и нормативно-технич. документации «Техэксперт». - Электрон. текстовые дан. - Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200044525>

19) Александровский С. В. Долговечность наружных ограждающих конструкций. – 2004.

20) Бойко М.Д. Техническое обслуживание и ремонт зданий и сооружений. Учебное пособие для вузов. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отделение, 1986. – 256 с.

21) Порывай Г.А. Предупреждение преждевременного износа зданий. – М.: Стройиздат, 1979. – 284 с.

22) ГОСТ 27.002-89. «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения» [Электронный ресурс]. - Введ. 01-01-1989 //

электрон. фонд правовой и нормативно-технич. документации «Техэксперт».
- Электрон. текстовые дан. - Режим доступа:
<https://docs.cntd.ru/document/1200004984>

23) ГОСТ 27751-88. «Надежность строительных конструкций и оснований» [Электронный ресурс]. - Введ. 01-01-1988 // электрон. фонд правовой и нормативно-технич. документации «Техэксперт». - Электрон. текстовые дан. - Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200001415>

24) Колесникова М. И. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРЕХСЛОЙНЫХ ТЕПЛОЭФФЕКТИВНЫХ НАРУЖНЫХ СТЕН //Международный студенческий строительный форум-2018 (К 165-летию со дня рождения ВГ Шухова). – 2018. – С. 59-63.

25) Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений"[Электронный ресурс]. - Введ. 02-07-2013 // электрон. фонд правовой и нормативно-технич. документации «Техэксперт». - Электрон. текстовые дан. - Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/902192610>

26) Горшков А.С., Немова Д.В., Ватин Н.И. Формула энергоэффективности // Строительство уникальных зданий и сооружений. - 2013. - № 7 (12). - С. 49-63.

27) Гагарин В.Г. Теплофизические проблемы современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий // Academia. Архитектура и строительство. - 2009. - №5. - С.297-305

28) Ватин Н.И., Горшков А.С., Немова Д.В. Энергоэффективность ограждающих конструкций при капитальном ремонте // Строительство уникальных зданий и сооружений. - 2013. - № 3 (8). - С. 1-11.

29) Альбом технических решений по применению теплоизоляционных изделий из пенополиуретана торговой марки «Spu-insulation» в строительстве жилых, общественных и промышленных зданий / Ватин Н.И., Величкин В.З.,

Горшков А.С., Пестряков И.И., Пешков А.А., Немова Д.В., Киски С.С. // Строительство уникальных зданий и сооружений. - 2013. - № 3 (8). - С. 1-264.

30) Ватин Н.И., Немова Д.В., Горшков А.С. Сравнительный анализ потерь тепловой энергии и эксплуатационных затрат на отопление для загородного частного дома при различных минимальных требованиях к уровню тепловой защиты ограждающих конструкций // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2013. - № 1 (168). - С. 36-39.

31) Ватин Н.И., Горшков А.С., Глумов А.В. Влияние физико-технических и геометрических характеристик штукатурных покрытий на влажностный режим однородных стен из газобетонных блоков // Инженерностроительный журнал. - 2011. - № 1. - С. 28-33.

32) Chaykovskiy G. Comparison of Thermal Insulation Materials for Building Envelopes of Multi-storey Buildings in Saint-Petersburg [Электронный ресурс]. Системные требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/24695/Chaykovskiy_German.pdf?sequence=1 (дата обращения 05.11.13)

33) Duijve M. Comparative assessment of insulating materials on technical, environmental and health aspects for application in building renovation to the Passive house level [Электронный ресурс]. Системные требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://igitur-archive.library.uu.nl/student-theses/2012-1210-200855/Melchert%20Duijve%20-%20MSc%20Thesis%20-%20LCA%20insulation%20materials%20-%202012.pdf> (дата обращения 25.10.13)

34) Perez O.C. The behavior of aerogel blankets as insulation material in external walls at high temperatures [Электронный ресурс]. Системные требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/168478/168478.pdf> (дата обращения 27.10.13)

35) Копытенкова О.И., Турсунов З.Ш. Оценки риска и направления совершенствования охраны труда в строительстве при использовании минеральных ват // Интернет-журнал Науковедение. - 2013. - №1(14). - С.17-23.

36) Жуков А. Д., Смирнова Т. В., Чугунков А. В. Перенос тепла в высокопористых материалах // Интернетвестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. - 2012. - Вып. 3 (23). - 8 с.

37) Coquarda R., Baillisb D., Quenarda D. Experimental and theoretical study of the hot-ring method applied to low-density thermal insulators // International Journal of Thermal Sciences. 2008. Vol. 47. Issue 3. Pp. 324– 338.

38) Thermal conductivity of thin single-crystalline germanium-on-insulator structures / Alvarez-Quintanaa J., Rodríguez-Viejoa J., Alvareza F.X., Joua D. // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2011. Vol. 54. Issues 9–10. Pp. 1959–1962.

39) Gonçalvesa M.R.F., Bergmann C.P. Thermal insulators made with rice husk ashes: Production and correlation between properties and microstructure // Construction and Building Materials. 2007. Vol. 21. Issue 12. Pp. 2059–2065.

40) Optimization-based feasibility study of an active thermal insulator / Harren-Lewis T., Rangavajhalab S., Messacc A., Zhangd J. // Building and Environment. 2012. Vol. 53. Pp. 7–15

41) Steven Van Dessel, Benjamin Foubert. Active thermal insulators: Finite elements modeling and parametric study of thermoelectric modules integrated into a double pane glazing system // Energy and Buildings. 2010. Vol. 42. Issue 7. Pp.1156–1164

42) The EU advanced lead lithium blanket concept using SiCf/SiC flow channel inserts as electrical and thermal insulators / Norajitraa P., Bühlера L., Fischera U., Kleefeldta K., Malanga S., Reimanna G., Schnaudera H., Giancarlib L., Golfierb H., Poitevinb Y., Salavyb J.F. // Fusion Engineering and Design. 2001. Vol. 58–59. Pp. 629–634.

43) Al-Tayyib A.J., Jung H.J., Shamin Khan M. Development of calcium silicate thermal insulator in Saudi Arabia // Cement and Concrete Research. 1990. Vol. 20. Issue 5. Pp. 767–777.

44) П.И. Горелик, Ю.С. Золотова Современные теплоизоляционные материалы и особенности их применения // Строительство уникальных зданий и сооружений. - 2014. - № 3 (18). - С. 93-103.

45) Дмитриев И. М. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ //Международная научно-техническая конференция молодых ученых. – 2020. – С. 1837-1845.

45) ТК-23 Типовая технологическая карта на монтаж вентилируемого фасада с облицовкой композитными панелями "[Электронный ресурс]. // Библиотека нормативной документации. - Электрон. текстовые дан. - Режим доступа : <https://files.stroyinf.ru/Data1/47/47642/>

46) Инструкция по монтажу Вентилируемых фасадных систем. "[Электронный ресурс]. // Библиотека нормативной документации. - Электрон. текстовые дан. - Режим доступа :[https://novosibirsk.metallprofil.ru/about/articles/ins trukcia -po-montazhu-ventiliruemyh-fasadnyh-sistem/](https://novosibirsk.metallprofil.ru/about/articles/ins_trukcia_po-montazhu-ventiliruemyh-fasadnyh-sistem/).

47) Кузьгов А. К. Требования к качеству и приёмка работ навесных вентилируемых фасадов //Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – №. 10-1. – С. 119-121.

48) Корниенко А.К. Факторы влияющие на долговечность утеплителей и строительных конструкций при эксплуатации объектов "[Электронный ресурс]. // Библиотека статей на профессиональную тему. - Электрон. текстовые дан. - Режим доступа : <https://mlynok.wordpress.com/2009/03/17/факторы-влияющие-на-долговечность-ут/>

48) СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [Электронный ресурс]. - Введ. 01-07-2013 // электрон. фонд правовой и нормативно-технич.

документации «Техэксперт». - Электрон. текстовые дан. - Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200095525>

49) ГОСТ Р 57418-2017 «Материалы и изделия минераловатные теплоизоляционные. Метод определения срока эффективной эксплуатации» [Электронный ресурс]. - Введ. 01-07-2017 // электрон. фонд правовой и нормативно-технич. документации «Техэксперт». - Электрон. текстовые дан. - Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200144426>

50) Коканин С. В. ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА: специальность 05.23.05 «Строительство» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора психологических наук / Коканин Сергей Владимирович ; Ивановский государственный архитектурно-строительный университет. – Иваново, 2011. – 170с.

51) Гуюмджян, П.П. Исследование теплофизических свойств пенополистирола при его старении / П.П. Гуюмджян, С.В. Коканин, А.А. Пискунов. – «Строительство и реконструкция», 2011. – №2. – С. 69-76.

52) Иванцов, А. И. Прогнозирование срока службы наружных стен жилых зданий по критерию теплозащиты / А. И. Иванцов, В. Н. Куприянов // Известия КазГАСУ. – 2014. – № 4 (30).

53) Иванцов, А. И. Натурные исследования эксплуатационных воздействий на фасадные системы с различными видами эффективных утеплителей / А. И. Иванцов, В. Н. Куприянов, И. Ш. Сафин // Жилищное строительство. – 2013. – № 7. – С. 29-32.

54) Коканин, С. В. Исследование долговечности теплоизоляционных материалов на основе пенополистирола: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / С. В. Коканин. – Иваново, 2011.

55) Ли, А. В. Долговечность энергоэффективных полимерсодержащих ограждающих конструкций: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / А. В. Ли. – Хабаровск, 2003.

56) Иванцов А. И., Куприянов В. Н. Прогнозирование срока службы наружных стен жилых зданий по критерию теплозащиты //Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – №. 4 (30). – С. 139-147.

57) Киприянов В.Н. К определению долговечности ограждающих конструкций жилых зданий массовой застройки. – Известия КГСУ. 2013 - №2 (24).

58) Бойко М.Д. Техническое обслуживание и ремонт зданий и сооружений. Учебное пособие для вузов. – Л.: Стройнадзор, Ленинград. Отделение, 1986. – 256 с.

59) Колотилкин Б.М. Долговечность жилых зданий. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1968. – 254 с.

60) Порывай Г.А. Предупреждение износа зданий. М.: Стройиздат, 1979.

61) Порывай Г.А. Техническая эксплуатация зданий. М.: Стройиздат, 1982.

62) Рогонский В. А., Костриц А. И., Шеряков В. Ф. Эксплуатационная надежность зданий. – Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1983.

63) Хайрулин В.А. Оценка эффекта от проведения капитального ремонта жилых зданий Э.В. Шакарова, Е.А. Быль Вестник Иркутского государственного технического университета. - 2015. - №3 (98). - С. 3

64) Чеснокова О. Г. К вопросу о вреде утепления стены изнутри //Традиции и инновации в современной науке. – 2016. – С. 564-567.

65) Амелин А. А., Ильичев В. А., Отлева Т. И. К вопросу о различных вариантах утепления стен наружного контура здания //Успехи современной науки. – 2017. – Т. 2. – №. 5. – С. 49-53.

66) 3. Чеснокова О.Г. Применение новых строительных технологий при реконструкции старого жилого фонда. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. - 2004. - № 4. - с. 95-97.

67) Tadiwos Zerihun Desta Experimental and Numerical Analysis of Heat, Air, and Moisture Transfer in a Lightweight Building Wall / ASHRAE, 2010

68) Abuku, M., B. Blocken, and S. Roels. 2009. Moisture response of building facades to wind-driven rain: Comparison of field measurements and numerical simulations. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 97(5-6):197–207.

69) Adan, O., H. Brocken, J. Carmeliet, H. Hens, S. Roels, and C.E. Hagentoft. 2004. Determination of liquid water transfer properties of porous building materials and development of numerical assessment methods: Introduction to the EC HAMSTAD project. *Journal of Thermal Envelope and Building Science* 27(4):253–60.

70) CEN. 2001. ISO/CEN 13788, Hygrothermal performance of building components and building elements—Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation—Calculation methods. Brussels: European Committee for Standardization.

71) Hens, H. 2007. *Building Physics—Heat, Air and Moisture: Fundamentals and Engineering Methods with Examples and Exercises*. Berlin: Ernst & Sohn.

72) Karagiozis, A. 1993. Overview of the 2D hygrothermal heat-moisture transport model LATENITE. Institute for Research in Construction, National Research Council, Canada.

73) Протасевич А. М. и др. Расчет тепловлажностного режима наружных стен зданий с вентилируемой воздушной прослойкой и защитными экранами. – 2009.

74) Лукьянов В.И. Метод расчета влажностного состояния наружных ограждений с вентилируемой воздушной прослойкой для производственных зданий. В сб. "Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий". - М., 1980. - С. 84-93

75) Протасевич А.М., Крутилин А.Б. "Натурные исследования наружных стен зданий, теплоизолированных по системе "вентилируемый

фасад”. Материалы научно-технической конференции “Современные фасадные системы: эффективность и долговечность”. – М.: МГСУ, 2008. - С. 212-217.

76) СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* (с Изменением N 2). – Введ. 01.01.2013 "[Электронный ресурс]. // Библиотека статей на профессиональную тему. - Электрон. текстовые дан. - Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200095546>

77) Расчет утепления и точки росы для строящих свой дом. – "[Электронный ресурс]. // SmartCalc. - Электрон. текстовые дан. - Режим доступа:<https://www.smartcalc.ru/thermocalc?&gp=370&rt=0&ct=0&os=0&ti=20&to=10&hi=55&ho=85&ld0=2500&le0=1<0=0&mm0=201&ld1=1300&le1=1<1=0&mm1=572>

78) Перехоженцев А. Г., Груздо И. Ю. Влияние климатических воздействий на температурно-влажностное состояние поверхностных слоев многослойных наружных ограждающих конструкций зданий //Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – №. 4-2 (46). – С. 143-149.

79) Князев Л. А., Сафина О. М. Долговечность утеплителей в системе навесного вентилируемого фасада // Перспективы развития науки в современном мире. – 2019. – С. 143-148.

80) Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / Под ред. Ю. А. Табунщикова, В. Г. Гагарина. - 5-е изд., пересмотр. - М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. -256 с. - 5000 экз. - ISBN 5-98267-023-5.

Приложение 1

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, МОНТАЖЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МНОГОСЛОЙНЫХ СТЕН ЗДАНИЙ

Рекомендации при проектировании:

1) Отказаться от применения конструкции с «замуровыванием» минераловатных утеплителей. Конструкции с облицовочным слоем из штучных материалов, таких как кирпич, камень бетонный стеновой и т.д. без вент зазора приводят к накоплению влаги внутри толщи утеплителя.

2) При новом проектировании отдавать предпочтения конструкциям с навесными фасадами. Такие конструкции имеют открытые вент зазоры, что позволяет удалять влагу из утеплителей в течении всего срока эксплуатации.

3) Применять методику проведения теплотехнического расчета с учетом долговечности минераловатного утеплителя. Как показали вычисления, при увеличении толщины утеплителя на 10-20 мм конструкция многослойных стен будет удовлетворять критерию теплозащиты на протяжении 50 лет.

При строительстве:

1) Стена должна быть отчищена от пыли, грязи и других веществ которые ослабляют адгезию

2) Основание рекомендуется тщательно загрунтовать

3) Для монтажа утеплителя следует применять специально предназначенные для этого сухие смеси

4) В емкость следует заливать точное количество воды, указанное на мишке со смесью

5) Добавлять смесь в воду, а не наоборот и перемешивать миксером до получения однородного раствора

- 6) Перед нанесением клеевого раствора поверхность плит рекомендуется тщательно загрунтовать
- 7) Клеевой раствор наносить по всему периметру плит утеплителя
- 8) Монтаж производить снизу-вверх горизонтальными рядами
- 9) При монтаже теплоизоляции нельзя допускать крестообразных стыков
- 10) В случае, если зазор между плитами более 2мм, его необходимо зачеканить
- 11) Механическое крепление плит выполнять фасадными дюбелями



Рисунок 1 – Пример распространенной ошибки при монтаже утеплителя

При эксплуатации:

1) При наращении облицовочного слоя необходимо незамедлительно его восстановить.

2) Своевременно проводить периодические ремонты штукатурных фасадных систем.

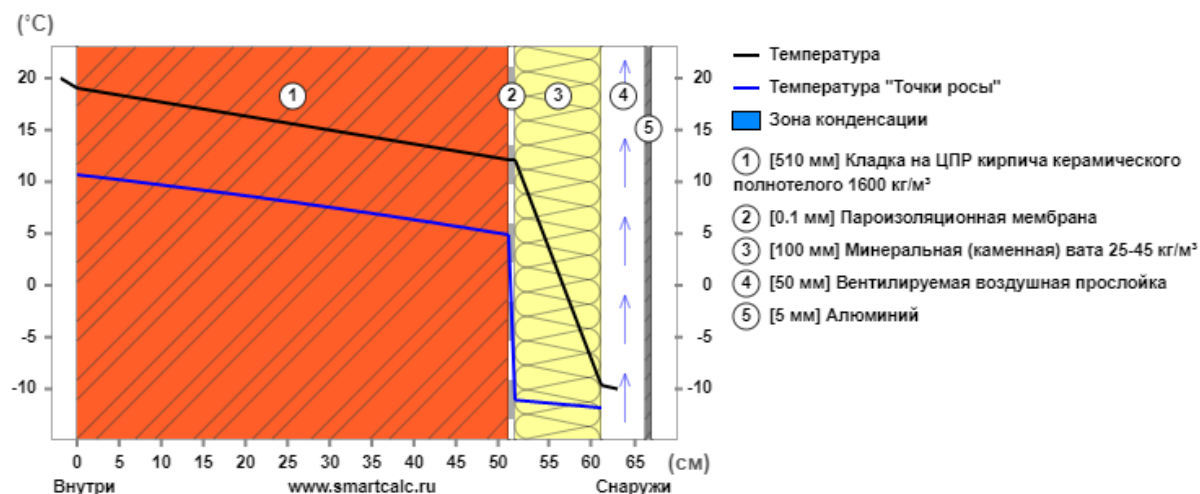


Рисунок 1 – Конструкция многослойной стены, рекомендуемая к применению

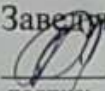
Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО
«Сибирский федеральный университет»

кафедра «Строительство и экономика»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Г.Н. Шибаева

подпись инициалы, фамилия

«28» 06 2023 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Прогнозирование срока службы многослойных теплоэффективных наружных
стен зданий

тема

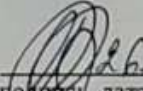
08.04.01 «Строительство»

код и наименование направления

08.04.01.16 «Промышленное и гражданское строительство: проектирование»

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель


подпись, дата

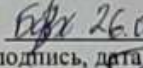
зав. Каф. ктн

должность, ученая степень

Шибаева Г. Н.

инициалы, фамилия

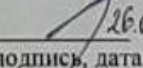
Выпускник

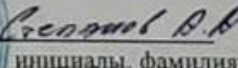

подпись, дата

Бахтин В. Д.

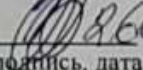
инициалы, фамилия

Рецензент


подпись, дата


инициалы, фамилия

Нормоконтролер


подпись, дата

Шибаева Г. Н.

инициалы, фамилия



Абакан 2023

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЗАВЕДУЮЩЕГО КАФЕДРОЙ
О ДОПУСКЕ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ К ЗАЩИТЕ

Вуз Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

Кафедра «Строительство и экономика»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Заведующего кафедрой «Строительство и экономика»

Шибоевой Галины Николаевны

(фамилия, имя, отчество заведующего кафедрой)

Рассмотрев магистерскую диссертацию студента группы № 31-3

Бахтина Вячеслава Дмитриевича

(фамилия, имя, отчество студента)

выполненную на тему Прогнозирование срока службы многослойных теплоэффективных наружных стен зданий

по реальному заказу _____
(указать заказчика, если имеется)

с использованием ЭВМ _____
(название задачи, если имеется)

Положительные стороны работы _____

в объеме 86 листов магистерской диссертации, отмечается, что работа выполнена в соответствии с установленными требованиями и допускается кафедрой к защите.

Зав. кафедрой  Г. Н. Шибоева

« 28 » 06 202 3 г.

АННОТАЦИЯ

на магистерскую диссертацию Бахтина Вячеслава Дмитриевича
(фамилия, имя, отчество)

на тему: «Прогнозирование срока службы многослойных теплоэффективных
наружных стен зданий»

Актуальность тематики и ее значимость: зафиксировано множество случаев, когда многослойные стены перестают удовлетворять требованиям теплозащиты раньше заложенного в проекте срока. Данная работа направлена на разработку методик прогнозирования долговечности на этапе проектирования здания.

Расчеты, проведенные в пояснительной записке: в магистерской диссертации проведены расчеты долговечности многослойных стен с применением пенополистирольного утеплителя и теплотехнические расчеты с учетом старения утеплителя из минеральной ваты.

Использование ЭВМ: Во всех основных расчетных разделах магистерской диссертации, при оформлении пояснительной записки и графической части использованы стандартные и специальные строительные программы ЭВМ: Microsoft Office Word 2010, Microsoft Office Excel 2010, AutoCAD 2010, Internet Explorer, Grand Смета.

Разработка экологических и природоохранных мероприятий: В рамках разработки магистерской диссертации разработка экологических и природоохранных мероприятий не проводилась.

Качество оформления: Пояснительная записка и чертежи выполнены с высоким качеством на ЭВМ. Распечатка работы сделана на лазерном принтере с использованием цветной печати для большей наглядности.

Освещение результатов работы: Результаты проведенной работы изложены последовательно, носят конкретный характер.

Степень авторства: Содержание магистерской диссертации разработано автором самостоятельно.

Автор магистерской диссертации


подпись

Бахтин В. Д.
(фамилия, имя, отчество)

Научный руководитель работы


подпись

Шибеева Г. Н.
(фамилия, имя, отчество)

ABSTRACT

The graduation project of Bakhtin Vyacheslav Dmitrievich
(first name, surname)

The theme: Forecasting the service life of multilayer heat-efficient exterior walls of buildings

The relevance of the work and its importance: there are many cases when multilayer walls cease to meet the requirements of thermal protection before the deadline laid down in the project. This work is aimed at developing methods for forecasting durability at the stage of building design.

Calculations carried out in the explanatory note: in the master's thesis, calculations of the durability of multilayer walls with the use of expanded polystyrene insulation and thermal engineering calculations taking into account the aging of the insulation made of mineral wool were carried out.

Usage of computer: In all sections of the graduation project including the execution of the explanatory note and graphical part the computer standard and special building programs are used: Microsoft Office Word 2010, Microsoft Office Excel 2010, AutoCAD 2010, Grand Smeta.

The development of environmental conservation activities: As part of the development of the master's thesis, the development of environmental and environmental measures was not carried out.

Quality of execution: The explanatory note and drawings are made with high quality on a computer. Printing work is done on a laser printer with color prints for better visibility.

Presentation of results: The results of this work are set out in sequence; they are specific and cover all stages of construction.

Degree of the authorship: The content of the graduation work is developed by the author independently.

The author of the graduation project 
Signature

Bakhtin V. D.
(first name, surname)

Project supervisor


Signature

Shibaeva G. N.
(first name, surname)

РЕФЕРАТ
ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ
в форме магистерской диссертации

Тема выпускной квалификационной работы Прогнозирование срока службы многослойных теплоэффективных наружных стен зданий

ВКР выполнена на 86 страницах, с использованием 33 иллюстраций, 24 таблиц, 3 формул, 1 приложений, 80 использованных источников, 7 количество листов графического или иллюстративного материала.

Ключевые слова: долговечность, многослойные стены, теплоэффективные стены, теплотехнический расчет.

Автор работы, гр. №31-3 В.Д. Бахтин
подпись инициалы, фамилия

Руководитель работы Г.Н. Шибаева
подпись инициалы, фамилия

Год защиты квалификационной работы - 2023

- Цель. Изучение методик определения долговечности многослойных стен по критерию потери теплозащиты, определения факторов, влияющих на долговечность, проведения эксперимента для определения эксплуатационных характеристик многослойной стены в осенний период и выпуск рекомендаций по проектированию и строительству теплоэффективных стен

- Задачи:

- определить параметры долговечности ограждающих стен;
- провести анализ существующих методов теоретических и экспериментальных исследований долговечности теплоизоляционных материалов и определить оптимальные для органических и неорганических утеплителей;

-- определить факторы, влияющие на долговечность стен, выявить структурные изменения материала под воздействием различных внешних и внутренних факторов;

-- разработать рекомендации по прогнозированию срока службы многослойных теплоэффективных наружных стен зданий.

- Актуальность темы.

В современной строительной сфере остро стоят вопросы теплозащиты зданий. Сопротивление теплопередаче ограждающих строительных конструкций является одним из основных требований по обеспечению безопасности зданий и сооружений. Все чаще для удовлетворения требований теплопроводности во время строительства и реконструкции применяют многослойные ограждающие конструкции. Такие конструкции состоят из несущего слоя, теплоизоляции и облицовки. Наименьший коэффициент теплопроводности имеет слой утеплителя, и повреждения данного слоя критически сказываются на теплозащите всей конструкции.

В строительной сфере применяют широкий спектр теплоизоляционных материалов. При эксплуатации утеплители разрушаются под действием внешних и внутренних факторов. Внутренними факторами являются процессы, связанные с естественной деструкцией. Внешние факторы - это действие жидких агрессивных сред, а также атмосферные воздействия (колебание температуры и влажности) и старение (фото- и теплостарение). При длительном воздействии этих факторов происходит изменение структуры материала и, как следствие, его физико-механических свойств. Свойства утеплителей меняются от воздействия неконтролируемых случайных факторов.

При проектировании новых и реконструкции существующих зданий теплоизоляция практически не поддается точной численной оценке на долговечность и гарантированный срок службы. С целью достижения эффективной тепловой модернизации, физико-механические характеристики стен требуется определять с достаточной степенью точности. Проведенные ранее экспериментальные исследования не дают наиболее четкого и точного ответа о степени пригодности и долговечности теплоизоляционных строительных конструкций и изделий. В связи с этим исследования в области определения долговечности теплоизоляционного материала являются весьма актуальными.

- Научная и практическая новизна, эффективность.

- Экспериментально установлено что количество циклов замораживания-оттаивания, применяемое в методиках определения долговечности утеплителей, не соответствует реальным эксплуатационным;

-- Расчет показал, что при применении методики проведения теплотехнического расчета с учетом старения материала долговечность многослойных стен будет удовлетворять требованию теплозащиты в течении 50 лет.

- Выводы, рекомендации.

В ходе выполнения теплотехнических расчетов и расчетов долговечности было установлено, что при увеличении толщины утеплителя на 10-12% многослойная стена будет удовлетворять требованиям теплозащиты в течении 50 лет.

Разработана методика проведения теплотехнического расчета с учетом старения мин. плиты. Данная методика рекомендуется к применению на этапе проектирования зданий и сооружений.

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

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО
«Сибирский федеральный университет»

кафедра «Строительство и экономика»

УТВЕРЖДАЮ
заведующий кафедрой
 Г. Н. Шибаетова
подпись инициалы, фамилия
« 29 » 09 2021 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации**

Студенту Бахтину Вячеславу Дмитриевичу

фамилия, имя, отчество

Группа 31-3 Направление 08.04.01 Строительство, магистерская
программа 08.04.01.16 «Промышленное и гражданское строительство:
проектирование»

Тема выпускной квалификационной работы Прогнозирование срока службы
многослойных теплоэффективных стен

Утверждена приказом по институту № 679 от 29.09.2021

Руководитель ВКР Шибаетова Г. Н. зав. каф., канд. техн. наук

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

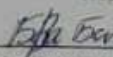
Исходные данные для ВКР: научная информация опубликованная в
официальных изданиях

Перечень разделов ВКР: первая глава – литературный обзор, вторая глава -
расчет долговечности многослойных стен, третья глава – натурные
исследования, четвертая глава – выводы и рекомендации

Перечень графического или иллюстративного материала с указанием
основных чертежей, плакатов, слайдов: постер, 7 листов графической
части

Руководитель ВКР

Задание принял к исполнению

 Шибаетова Г. Н.
подпись, инициалы и фамилия
 Бахтин В. Д.
подпись, инициалы и фамилия студента
« 29 » 09 2021 г.

ОТЗЫВ РУКОВОДИТЕЛЯ

На магистерскую диссертацию

Бахтина Вячеслава Дмитриевича

выполненную на тему: Прогнозирование срока службы многослойных теплоэффективных наружных стен зданий

1. Актуальность работы В строительной сфере применяют широкий спектр теплоизоляционных материалов. При эксплуатации утеплители разрушаются под действием внешних и внутренних факторов, при длительном воздействии которых происходит изменение структуры материала. При проектировании новых и реконструкции существующих зданий теплоизоляция практически не поддается точной численной оценке на долговечность и гарантированный срок службы. С целью достижения эффективной тепловой модернизации, физико-механические характеристики стен требуется определять с достаточной степенью точности. Проведенные ранее экспериментальные исследования не дают наиболее четкого и точного ответа о степени пригодности и долговечности теплоизоляционных строительных конструкций и изделий. В связи с этим исследования в области определения долговечности теплоизоляционного материала являются весьма актуальными.

2. Научная новизна работы:

- Экспериментально установлено что количество циклов замораживания-оттаивания, применяемое в методиках определения долговечности утеплителей, не соответствует реальным эксплуатационным;
- Расчет показал, что при применении методики проведения теплотехнического расчета с учетом старения материала долговечность многослойных стен будет удовлетворять требованию теплозащиты в течении 50 лет.

3. Оценка содержания работы Работа выполнена в полном объеме в соответствии с требованиями, предъявляемыми к магистерским диссертациям по направлению 08.04.01 Строительство.

4. Положительные стороны работы Использованы экспериментальные и численные методы определения долговечности многослойных стен

5. Замечания к работе При выполнении расчетов не учтено влияние теплопроводных включений

6. Рекомендации по внедрению работы Рекомендуется применять методику проведения теплотехнического расчета с учетом старения минеральной ваты при проектировании.

7. Рекомендуемая оценка работы Отлично

8. Дополнительная информация для ГАК —

РУКОВОДИТЕЛЬ



(подпись)

Г. Н. Шibaева

(фамилия, имя, отчество)

Зав. кафедрой «Строительство и экономика»

(ученая степень, звание, должность, место работы)

« 20 » июня 2023 г.

(дата выдачи)

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию студента направления 08.04.01 «Строительство»
Бахтина Вячеслава Дмитриевича,
выполненную на тему «Прогнозирование срока службы многослойных
теплоэффективных наружных стен зданий»

Актуальность работы: В современной строительной сфере остро стоят вопросы теплозащиты зданий. Сопротивление теплопередаче ограждающих строительных конструкций является одним из основных требований по обеспечению надежности тепловой защиты зданий и сооружений. Все чаще для удовлетворения требований теплопроводности во время строительства и реконструкции применяют многослойные ограждающие конструкции. Такие конструкции состоят из несущего слоя, теплоизоляции и облицовки. Наименьший коэффициент теплопроводности имеет слой утеплителя, и повреждения данного слоя критически сказываются на теплозащите всей конструкции.

Оценка содержания работы: Диссертация выполнена в объеме 7 листов графической части формата A1 и листов пояснительной записки. Диссертация выполнена в соответствии с действующей нормативной документацией и отвечает всем современным требованиям.

Графическая часть выполнена в ПК Autodesk AutoCAD, расчеты выполнены в ПК Microsoft Excel. Пояснительная записка содержит все необходимые расчеты и пояснения. При обработке экспериментальных данных применялись как аналитические, так и численные методы. Обработка данных проводилась с использованием программных комплексов.

Замечания к работе: Следовало бы представить таблицу с полученными данными по эксперименту.

Рекомендации по внедрению: Рекомендуется применять методику проведения теплотехнического расчета с учетом старения минеральной ваты при проектировании.

Рекомендуемая оценка: Отлично

Студент В.Д. Бахтин заслуживает присвоения квалификации магистр.

Рецензент

23.06.2023



Степанов А.А., генеральный директор
ООО «Абаканкоммунпроект»