

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал СФУ  
институт

Строительство  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Г.Н. Шибаева  
подпись                      инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Разработка программы эксперимента по строительству опытных домов для  
исследования и классификации дефектов теплопотерь  
тема

08.04.01 Строительство  
код и наименование направления

08.04.01.03 «Теория и проектирование зданий и сооружений»  
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	_____	<u>к.т.н., доцент</u>	<u>О.З. Халимов</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>О.А. Адьякова</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
		<u>Инженер-проектировщик</u>	
Рецензент	_____	<u>ООО «Экспертиза недвижимости» А.В.Житенев</u>	
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____	<u>к.т.н., доцент</u>	<u>Г.Н. Шибаева</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Абакан 2019

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка программы эксперимента по строительству опытных домов для исследования и классификации дефектов теплопотерь» содержит 79 страниц текстового документа, 21 таблицу, 38 рисунков, 16 формул, 74 использованных источника.

### РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ ОПЫТНЫХ ДОМОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ ТЕПЛОПОТЕРЬ

Объект исследования является энергоэффективность наружных ограждающих конструкций малоэтажных зданий.

Предмет исследования – причины процессов теплопереноса, приводящих к ухудшению тепловой эффективности наружных ограждающих конструкций и микроклимата помещений.

Цель работы - разработка типологии дефектов теплопотерь здания, основанной на мониторинге и обследовании объектов малоэтажного строительства Республики Хакасия.

Задачи:

1 Анализ эффективности существующих конструктивных решений, направленных на снижение теплопереноса и поиск факторов, снижающих уровень теплозащиты ограждающих конструкций;

2 Визуальное и инструментальное обследование объекта малоэтажного строительства;

3 Исследование утилизации тепла через наружные ограждающие конструкции в натуральных условиях при помощи тепловизионного обследования;

4 Сравнение данных, полученных при помощи тепловизора с данными, полученными с применением современного программного комплекса Elcut;

5 Расчет истинной величины тепловых потерь за счет инфильтрации;

6 Выполнить анализ воздействия климатических условий Республики Хакасия на температурно-влажностные характеристики и воздухопроницаемость наружных ограждений;

7 Выполнить натурное исследование процессов переноса парообразной влаги через наружное ограждение;

8 Ранжирование дефектов теплопотерь ограждающих конструкций объектов малоэтажного строительства по этапам жизненного цикла;

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЗАВЕДУЮЩЕГО КАФЕДРОЙ  
О ДОПУСКЕ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ К ЗАЩИТЕ

Вуз (точное название) Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

Кафедра Строительство

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Заведующего кафедрой Строительство

(наименование кафедры)

Шибяевой Галины Николаевны

(фамилия, имя, отчество заведующего кафедрой)

Рассмотрев магистерскую диссертацию студента группы № 37-3

Адыяковой Оксаны Андреевны

(фамилия, имя, отчество студента)

выполненную на тему Разработка программы эксперимента по строительству опытных домов для исследования и классификации дефектов теплопотерь

по реальному заказу \_\_\_\_\_

(указать заказчика, если имеется)

с использованием ЭВМ Выполнение чертежей с использованием программы AutoCAD 2016, расчет узлов ограждающей конструкции в ПК ELCUT, поиск нормативной литературы с использованием программы Консультант Плюс.

(название задачи, если имеется)

Положительные стороны работы применен современный программный комплекс ELCUT, основанный на методе конечных элементов

в объеме 79 страниц ПЗ и 8 листов ГЧ магистерской диссертации, отмечается, что работа выполнена в соответствии с установленными требованиями и допускается кафедрой к защите.

Зав. Кафедрой \_\_\_\_\_

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 \_\_ г

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО СФУ

институт

Строительство

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Г.Н. Шибаева

(подпись)

(инициалы, фамилия)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
**в форме \_\_\_\_\_ магистерской диссертации \_\_\_\_\_**  
(бакалаврской работы, дипломного проекта, дипломной работы, магистерской диссертации)

Студенту (ке) Адьяковой Оксане Андреевне  
(фамилия, имя, отчество студента(ки))

Группа 37-3 Направление (специальность) 08.04.01  
(код)

Строительство

(наименование)

Тема выпускной квалификационной работы Разработка программы эксперимента по строительству опытных домов для исследования и классификации дефектов теплопотерь

Утверждена приказом по университету № 623 от 28.09.2017 г.

Руководитель ВКР О.З. Халимов, к.т.н., доцент  
(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для ВКР Проектная документация ООО «Экспертиза недвижимости»

Перечень разделов ВКР Глава 1 Современное состояние исследований в вопросе повышения энергоэффективности ограждающих конструкций; Глава 2 Анализ теплопотерь через оболочку здания; Глава 3 Диагностика и классификация видов дефектов; Глава 4 Разработка программы эксперимента по строительству опытных домов для исследования и классификации дефектов теплопотерь

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_  
(подпись)

О.З. Халимов  
(инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_  
(подпись)

О.А. Адьякова  
(инициалы и фамилия студента)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

## АННОТАЦИЯ

на магистерскую диссертацию Адыяковой Оксаны Андреевны  
(фамилия, имя, отчество)

на тему: «Разработка программы эксперимента по строительству опытных домов для исследования и классификации дефектов теплопотерь»

*Актуальность тематики и ее значимость:* заключается в поиске снижения утечек тепловой энергии охватывающей как трансмиссионные теплопотери, так и инфильтрацию и эксфильтрацию. Научная новизна заключается в том, что обосновано усиление концентрации появления высолов на поверхности зданий в зимнее время как результат взаимодействия инфильтрационных и эксфильтрационных потоков, впервые было установлено, что величина инфильтрации в условиях резко-континентального климата, к которому относится Республика Хакасия, составляет более 30% от общей величины теплопотерь.

*Расчеты, проведенные в пояснительной записке:* В пояснительной записке проведены: расчет инфильтрации, расчет на паропроницаемость, расчет распределения парциального давления водяного пара по толще конструкция ограждения и определение возможности образования конденсата в толще ограждения (расчет точки росы), расчет узлов ограждающих конструкций, рассчитана экономическая эффективность.

*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 2013, Microsoft Office Excel 2013, AutoCAD 2016, ELCUT, Google Chrome.

*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 и освещает весь этап исследования.

*Степень авторства:* Содержание магистерской работы разработано автором самостоятельно.

Автор магистерской работы

\_\_\_\_\_

подпись

О.А. Адыякова

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель работы

\_\_\_\_\_

подпись

О.З. Халимов

(фамилия, имя, отчество)

## ABSTRACT

of the master's thesis by Oksana Adyyakova  
(first name, surname)

Theme: “Development of the experiment program for constructing experimental houses to study and classify heat loss defects”

*The relevance of the work and its importance:* in the search for reducing the leakage of thermal energy encompassing both transmission heat losses and infiltration and exfiltration. The scientific novelty consists in the fact that the increased concentration of the appearance of efflorescence on the surface of buildings in winter as a result of the interaction of infiltration and exfiltration flows has been justified, for the first time it has been established that the infiltration rate in the conditions of a sharply continental climate, to which the Republic of Khakassia belongs, amounts to more than 30% of the total heat loss.

*Calculations carried out in the explanatory note:* the explanatory note includes: an infiltration calculation, a vapor permeability calculation, a calculation of water vapor partial pressure distribution over the thickness of the fence design and determination of the possibility of condensate formation in the thickness of the fence (dew point calculation), a calculation of the enclosing structures units, an economic efficiency calculation.

*Usage of computer:* in all parts of the bachelor thesis including the explanatory note and graphical part the computer standard and special building programs have been used: Microsoft Office Word 2013, Microsoft Office Excel 2013, AutoCAD 2016, ELCUT, Google Chrome, have been applied.

*Quality of presentation:* the explanatory note and drawings have been made with high quality using a computer. The printout has been done with a laser printer using color printing for better visual expression.

*Coverage of results:* the results of the work carried out have been outlined in a sequential manner, they are specific and cover the entire stage of the study.

*Degree of authorship:* the content of the master's thesis has been developed by the author independently.

Author of the master's thesis

\_\_\_\_\_  
signature

Oksana Adyyakova  
(first name, surname)

Project supervisor

\_\_\_\_\_  
signature

Oleg Halimov  
(first name, surname)



## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
Глава 1 Современное состояние исследований в вопросе повышения энергоэффективности ограждающих конструкций.....	8
1.1 Выводы по главе 1.....	14
Глава 2 Анализ теплотерь через оболочку здания.....	15
2.1 Выводы по главе 2.....	18
Глава 3 Диагностика и классификация видов дефектов.....	19
3.1 Обоснование начала исследований.....	19
3.2 Анализ климатических характеристик Республики Хакасия.....	21
3.3 Объект исследований.....	25
3.3.1 Объемно планировочное решение объекта исследований, расположенного по ул. Калинина в с. Калинино.....	25
3.3.2 Конструктивное решение.....	28
3.4 Инструментальное обследование здания лаборатории.....	29
3.4.1 Элементы незавершенного строительства здания лаборатории.....	38
3.5 Высолы на облицовочной версте как индикатор эксфильтрационных и эксфильтрационных теплотерь.....	39
3.6 Расчет паропроницаемости.....	45
3.7 Расчет распределения парциального давления водяного пара по толще конструкция ограждения и определение возможности образования конденсата в толще ограждения (расчет точки росы) .....	50
3.8 Расчет инфильтрации холодного воздуха в помещение лаборатории....	52
3.9 Выводы по главе 3.....	55
Глава 4 Разработка программы эксперимента по строительству опытных домов для исследования и классификации дефектов теплотерь...	57
4.1 Анализ данных тепловизионной съемки узлов сопряжений конструкций с данными программного комплекса Elcut.....	57
4.2 Разработка программы эксперимента.....	65
Заключение.....	69
Список использованных источников.....	71



## **ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность темы исследования.** Проблемы энергосбережения являются одними из наиболее актуальных в мировой экономике. Способы решения этих проблем в значительной мере будут определять место нашего общества в ряду развитых в экономическом отношении стран и уровень жизни российских граждан. Энергосбережение и энергоэффективность продолжают оставаться ключевыми темами в жизни россиян. С момента принятия Федерального закона от 23.11.2009 года №261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в

отдельные законодательные акты Российской Федерации» многие предприятия и граждане смогли существенно сократить расходы на электроэнергию за счёт внедрения различных энергосберегающих технологий и оптимизации потребления электричества. Самое перспективное направление по рациональному использованию и экономии топливно-энергетических ресурсов связано с энергосбережением в различных отраслях экономической деятельности. Свыше четверти потенциала энергосбережения сосредоточено в жилищно-коммунальном хозяйстве, а в строительстве и промышленности – свыше одной трети [1]. Вопросам энергоэффективности российского ТЭК посвящен основополагающий документ Республики Хакасия - Долгосрочная республиканская целевая программа «Энергосбережение и повышение энергоэффективности в Республике Хакасия на 2013 -2015 годы и на перспективу до 2020 года [2].

В нормативной документации, применяемой для теплотехнического расчета в РФ, на сегодняшний день отсутствуют методики и рекомендации, в полном объеме учитывающие влияние процессов тепломассопереноса на тепловые потери через наружные ограждающие конструкции. Снижение утечек тепловой энергии охватывает трансмиссионные потери, но на должном уровне не затрагивает такие показатели как инфильтрация и эксфильтрация.

**Цель работы.** Разработка типологии дефектов теплопотерь здания, основанной на мониторинге и обследовании объектов малоэтажного строительства Республики Хакасия.

**Научная новизна.** На основе анализа мониторинга и теоретических исследований установлены основные местоположения, приводящие к возникновению фильтрационных потоков.

1 Впервые было установлено, что величина инфильтрации в условиях резко-континентального климата, к которому относится Республика Хакасия, составляет более 30% от общей величины теплопотерь.

2 Обосновано усиление концентрации появления высолов на поверхности зданий в зимнее время как результат взаимодействия инфильтрационных и эксфильтрационных потоков.

3 Выявлено, что высолы на поверхности облицовочного кирпича являются важным индикатором дополнительных теплопотерь.

### **Практическая значимость**

Получены фактические показатели, характеризующие тепловую защиту эксплуатируемых объектов малоэтажного строительства пригорода Абакана (Республика Хакасия), которые послужили основой для продолжения дальнейших исследований.

Полученные материалы исследований могут быть использованы для рационального проектирования тепловой защиты новых зданий, но и для реконструкции старых, а также разработки пооперационного контроля качества выполнения на этапе строительства.

### **Задачи:**

1 Анализ эффективности существующих конструктивных решений, направленных на снижение тепломассопереноса и поиск факторов, снижающих уровень теплозащиты ограждающих конструкций;

2 Визуальное и инструментальное обследование объекта малоэтажного строительства;

3 Исследование утилизации тепла через наружные ограждающие конструкции в натуральных условиях при помощи тепловизионного обследования;

4 Сравнение данных, полученных при помощи тепловизора с данными, полученными с применением современного программного комплекса Elcut;

5 Расчет истинной величины тепловых потерь за счет инфильтрации;

6 Выполнить анализ воздействия климатических условий Республики Хакасия на температурно-влажностные характеристики и воздухопроницаемость наружных ограждений;

7 Выполнить натурное исследование процессов переноса парообразной влаги через наружное ограждение;

**8** Ранжирование дефектов теплопотерь ограждающих конструкций объектов малоэтажного строительства по этапам жизненного цикла;

**Объектом исследования** является энергоэффективность наружных ограждающих конструкций малоэтажных зданий.

**Предмет исследования:** причины процессов тепломассопереноса, приводящих к ухудшению тепловой эффективности наружных ограждающих конструкций и микроклимата помещений.

#### **Методология и методы диссертационного исследования**

Методологической основой исследования служат методы эмпирического научного познания, использующие наблюдение, измерение, обобщение, методы предметного моделирования, эксперименте, сравнении, синтез полученных результатов.

На стадии эксплуатации проведено обследование малоэтажных зданий с целью выявления дефектов теплопотерь, а так же строительного брака приводящего к снижению тепловой защиты здания в зимний период времени. Выполнено тепловизионное обследование ограждающих конструкций, а также наблюдение за динамикой распространения высолов на кирпичной кладке фасада малоэтажного здания.

# ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ВОПРОСЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Мероприятия повышения энергоэффективности зданий и сооружений предусматривают выполнение целого комплекса мер на всех стадиях жизненного цикла, как на стадии строительства, реконструкции и ремонта объектов, так и на стадии эксплуатации.

Анализ многочисленных работ отечественных и зарубежных ученых позволил сформулировать задачи для дальнейшего исследования.

Некоторые аспекты по результатам исследований, касающихся энергоэффективности зданий и их конструкций, освещены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Обзор состояния исследований по теме работы

Автор	Наименование работы	Результаты исследования
В.Я. Котин статья	Каким быть СНиПу по тепловой защите зданий. Развитие и совершенствование норм тепловой защиты зданий	Рассматриваются вопросы развития и совершенствования нормирования тепловой защиты жилых зданий в связи с предпринимаемой актуализацией СНИП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий». [3]
В.Г. Гагарин, В.В. Козлов статья	О нормировании теплопотерь через оболочку здания	Новый СНИП по тепловой защите должен содержать как поэлементные требования, так и комплексное требование к оболочке здания. При этом комплексное требование должно стать основным, обладать простотой и четкостью определений и быть согласованным с поэлементными требованиями. [4]
Ю.А. Матросов статья	Энергоэффективность и экология – основа современных требований к	Повышение энергоэффективности зданий может быть путем более интенсивного использования существующих технологий, таких как теплоизоляция, строительные

	теплозащите зданий	материалы с высокой отражающей способностью и многослойное остекление, пассивное использование солнечной энергии, высокоэффективное искусственное освещение, вентиляционные и охлаждающие системы с высоким уровнем эффективности, солнечные нагреватели. [5]
В.И.Липко, Е.С. Добросольцева, Е.К. Синюкович статья	Теоретические основы моделирования тепломассообменных процессов при инфильтрации наружного воздуха через вентилируемые оконные стеклопакеты	В статье представлены материалы теоретических исследований двухслойных вентилируемых стеклопакетов с целью оптимизации теплообменных процессов при нормативной инфильтрации в условиях вынужденной конвекции наружного воздуха внутри межстекольного пространства и его подогрева за счет рекуперации трансмиссионной теплоты. [6]
Ю.О. Смирнова, С.С. Корнеева статья	Техническая экспертиза конструкций здания на примере жилого дома по ул. Суворова, д. 184	В данной работе рассмотрены основные проблемы, возникающие при эксплуатации окон и дверей на примере жилого дома по ул. Суворова г. Пенза. [7].
И.А. Губина, А.С. Горшков статья	Энергосбережение в зданиях при утилизации тепла вытяжного воздуха	В статье представлено техническое обоснование системы утилизации тепла вытяжного воздуха. Обоснована эффективность применения инженерных устройств, позволяющих утилизировать часть тепла вытяжного воздуха. Описаны основные устройства утилизации теплоты. Показано влияние утилизации тепла вытяжного воздуха на параметры энергосбережения в зданиях. Рассмотрена методика расчета потерь тепла за счет вентиляционного воздухообмена. Показано снижение эксплуатационных расходов на нагрев

		воздуха за счет теплоутилизации [8].
А.В. Мальцев, Д.С. Сорокин статья	Энергосбережение в многоэтажных жилых зданиях при инфильтрации воздуха через наружную стену	В данной статье рассмотрен процесс инфильтрации воздуха через наружную стену и возникающий при этом «экономайзерный эффект», ведущий к экономии тепловой энергии за счет уменьшения объема холодного вентиляционного воздуха через традиционные приточные отверстия и количества тепла на его подогрев. Представлена расчётная модель по вычислению количества сэкономленной энергии. Представлены некоторые закономерности «экономайзерного эффекта». [9]
А.М. Береговой, А.В. Мальцев, М.А. Дерина, А.В. Гречишкин статья	Эффект энергосбережения в помещении с естественной вентиляцией в условиях инфильтрации воздуха через наружную стену	На основании физико-математической модели экономайзерного эффекта в наружной стене дана приближенная оценка экономии тепловой энергии в помещении за счет уменьшения объема холодного приточного воздуха и количества тепла на его подогрев. [10]
В.И. Веснин статья	Инфильтрация воздуха и тепловые потери помещений через оконные проемы	Проведено исследование процесса охлаждения здания при отключённой системе отопления, работающей в прерывистом режиме. Рассмотрены факторы, влияющие на скорость снижения температуры. Показано влияние инфильтрации холодного воздуха в помещение на процессы теплообмена. Уточнена методика аэродинамического расчёта естественной вентиляции зданий. Предложен способ определения давления внутри здания, учитывающий гидравлические потери воздуха, проходящего

		через ограждения путём инфильтрации. Проведены расчёты процесса охлаждения здания с учётом инфильтрации воздуха в помещения. [11]
Т.Е. Гордеева, Д.В. Зеленцов статья	Улучшение тепловлажностного режима жилого помещения	Рассматривается один из видов перепланировки жилых квартир. Рассмотрена ситуация, при которой необходимо введение в конструкцию наружной многослойной стены дополнительного утепления со стороны внутренних помещений. [12]
А. Каддоур, С.М.А. Беккоуч статья	Изучение параметров естественной вентиляции на зданиях. Температура внутреннего воздуха	Было установлено, что оптимальное решение сильно зависит от способности оптимизировать внешнюю оболочку здания, внутреннюю нагрузку и поведение владельца. Это зависит от особенностей конструкции здания, включая открытие и уровень проникновения воздуха. В этой статье, внутренняя температура в изученном доме зависит от внешних климатических условий. Естественная вентиляция может быть оптимизированы путем изменения архитектуры здания, а также поведения обитателей. [13]
А.М. Береговой, Дерина, В.А. Береговой, А.В. Мальцев статья	Оценка тепловых потерь при эксфильтрации воздуха через пористую структуру материала ограждения	На основании разработанной расчетной модели дана приближенная оценка тепловых потерь при эксфильтрации воздуха через перекрытие холодного чердака для различных вариантов пористого и плитного утеплителя, что позволяет уточнить тепловую эффективность ограждающей конструкции.[14]
М.А. Дерина диссертация	Повышение тепловой эффективности	Уточнены закономерности процессов тепломассопереноса через пористую



	малоэтажных гражданских зданий	структуру наружного ограждения, позволяющие оценить тепловые потери при эксфильтрации теплого воздуха. Определены расчетные зависимости количества эксфильтрующегося воздуха через конструкции наружных ограждений верхнего этажа от этажности и от сопротивления воздухопроницанию, а также зависимость теплового потока через наружную стену от вида материала стены, разности температур окружающих среды от скорости движения воздуха. [15]
А.Я. Шарипов статья	Энергосбережение в программе «Доступное жилье»	Экономическая доступность комфортности жилья достигается совокупностью мер экономической целесообразности и технической возможности при разработке и внедрении энергоэффективных и энергосберегающих технологий. В России проблема внедрения энергоэффективных технологий является одной из ключевых. [16]
Д.В. Петросова статья	Фильтрация воздуха через ограждающие конструкции	Установлено подобие, которое позволяет, используя экспериментально определенный коэффициент фильтрации для одной конструкции, математически вычислить ее для другой конструкции. [17]
Ю.А. Табунщиков статья	Энергоэффективные здания и инновационные инженерные системы	Рассмотренные в представленной статье мероприятия по снижению удельного расхода тепло - вой энергии на отопление и вентиляцию являются одним из примеров достижения установленных показателей экономии энергии. [18]
В.С. Беляев статья	Инженерный метод расчета стыков наружных ограждений	Дано обоснование нового подхода к оценке влияния фильтрации наружного воздуха с отрицательной температурой к теплозащите

	панельных зданий с учетом фильтрации воздуха	зданий, заключающегося в количественном учете (разделении) воздухопроницаемости на поперечную, продольную и общую. [19]
В.С. Беляев статья	Методики теплотехнических расчетов наружных ограждений с рекуперацией трансмиссионного и вентиляционного теплового потока	Представлены примеры технических решений, методы теплотехнических расчетов элементов наружных ограждений с рекуперацией трансмиссионного и вентиляционного тепла и рекомендации по использованию полученных результатов применительно к теплоэффективным наружным ограждениям, улучшающим тепловой и воздушный режимы помещений. [20]
Т.А. Дацюк статья	Инженерные аспекты энергосбережения зданий	Контроль фактических значений термических сопротивлений ограждающих конструкций проводился на объекте, где фиксировался начальный участок записи теплового потока. Предложенный подход позволит получать корректную информацию, направленную на повышение точности оценки энергоэффективности зданий. [21]
Ю.А. Табуншиков, В.И. Ливчак, В.Г. Гагарин, Н.В. Шилкин статья	Пути повышения энергоэффективности эксплуатируемых зданий	В статье на примере капитального ремонта с модернизацией жилых зданий, который в настоящее время проводится в Москве, демонстрируется технико-экономическая оценка эффективности энергосберегающих мероприятий. [22]
Ю.А. Табуншиков, Н.В. Шилкин, Ю.В. Миллер статья	Методы и результаты оценки эффективности энергосберегающих решений	Разработанный метод экспресс-оценки эффективности энергосберегающих решений позволяет оперативно оценить вклад в снижение теплопотребления конкретного здания энергосберегающих решений и может быть использован для определения класса энергоэффективности

		зданий, для рейтинговой оценки зданий в системе зеленого строительства и исследования теплового баланса зданий. [23]
--	--	--

### **1.1 Выводы по главе 1**

В результате обзора многочисленных научных работ отечественных и зарубежных ученых было установлено, что не смотря на то, что вопросами энергоэффективности и энергосбережения занимаются на протяжении не одного десятилетия, еще остаются аспекты, оказывающие негативное влияние на тепловой баланс зданий, не рассмотренные на должном уровне. Процессы инфильтрации и эксфильтрации рассмотрены как факторы влияющие на параметры микроклимата помещений преимущественно многоэтажных зданий.

## **ГЛАВА 2 АНАЛИЗ ТЕПЛОПOTЕРЬ ЧЕРЕЗ ОБОЛОЧКУ ЗДАНИЯ**

Многочисленные исследования, мониторинги, посвященные изучению проблем энергосбережения и энергоэффективности [3-23], показывают, что наибольшее количество тепловой энергии тратится на отопление. Поэтому усилия специалистов направлены на поиск технических и конструктивных

решений, обеспечивающих повышение уровня тепловой защиты зданий и уменьшение затрат на их строительство и эксплуатацию.

После того, как в 1992 году Правительством была одобрена Концепция энергетической политики России постепенно стали вводиться в действие принципиальные изменения в СНиП II-3-79\* «Строительная теплотехника». В настоящее время все большее внимание уделяется энергосбережению при эксплуатации зданий, в частности, определению и снижению теплопотерь через оболочку здания.

Для этого по известным параметрам внутренней среды, наружного воздуха и элементов оболочки здания проводят теплотехнические расчеты ограждающих конструкций, кровли здания, также и натурные измерения фактических теплопотерь при вводе здания в эксплуатацию, в процессе его эксплуатации, а также на стадии капитального ремонта [24].

Неотъемлемой частью вопроса об энергоэффективности являются нормативные документы, регламентирующие методы расчёта и допустимые величины основных параметров. Рассмотрение данных документов позволит выявить наиболее актуальные вопросы, а также выявить методики, корректировка которых на основе последних исследований может привести к более точной оценке энергоэффективности ограждающих конструкций [25].

Существующий теплотехнический расчет ограждающих конструкций согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» [26], утверждённый приказом Министерства регионального развития РФ от 30 июня 2012 г. № 265 направлен на предотвращение трансмиссионных теплопотерь, но практически не затрагивает, на должном уровне, такого вида теплопотерь, как потери тепла через инфильтрацию и эксфильтрацию.

Ватин Н.И. в работе [27] в расчете тепловой энергии через оболочку здания жилого многоквартирного здания, сравнивает затраты тепловой энергии, рассчитанные по СП 50.13330.2012 [26] и по СНиП 23-02-2003 [28], только по

показателям трансмиссионных теплопотерь, принимая инфильтрационные теплопотери одинаковыми для каждого случая.

Согласно [8] вопросы энергосбережения в зданиях продолжают оставаться актуальными для любой страны. И особенно актуальны они для стран с холодным климатом. Россия имеет значительный потенциал энергосбережения, т.к. старые здания были построены с учетом обеспечения минимальных санитарно-гигиенических требований, а новые построены по теплозащитным требованиям, значительно менее жестким по сравнению с нормативами ведущих стран мира [30-33].

В европейских странах на энергопотребление зданий расходуется 20-22% от общего потребления тепловой энергии, а в России – 43-45%. Это свидетельствует о том, что в России существует значительный потенциал энергосбережения [15].

Из этого количества примерно 30-40% потерь приходится на стены, 20% - на оконные и дверные проемы, 20% - на кровлю, 20% — на подвал и систему вентиляции.

Согласно [25] Мальцев А.В. на основании метода комплексной оценки тепловой эффективности наружных стен, разработанном еще в начале 80-х годов, показал, что метод увеличения толщины наружного ограждения для снижения тепловых потерь, показал свою нецелесообразность, поскольку при этом хоть и достигается незначительное снижение суммарного расхода тепла за счет увеличения сопротивления теплопередаче ограждения, но зато возрастает расход тепла на изготовление материалов и производство конструкций.

Вышеперечисленные теплопотери относятся к трансмиссионным (перенос тепловой энергии через ограждение из здания в окружающую среду при воздействии разности температур), но не стоит забывать о теплопотерях, связанных с таким явлением как инфильтрация наружного воздуха (эксфильтрация внутреннего воздуха) через неплотности в ограждениях. Для жилых и общественных зданий коэффициент инфильтрации невелик (до 4-5%) [28]. (Рисунок 2.1). Ранее запитка чистого холодного воздуха

через щели в деревянных окнах была в норме и приравнивалась к вентиляции. Мониторинг в натуральных условиях на примере жилого дома показал, что эта цифра существенно занижена.

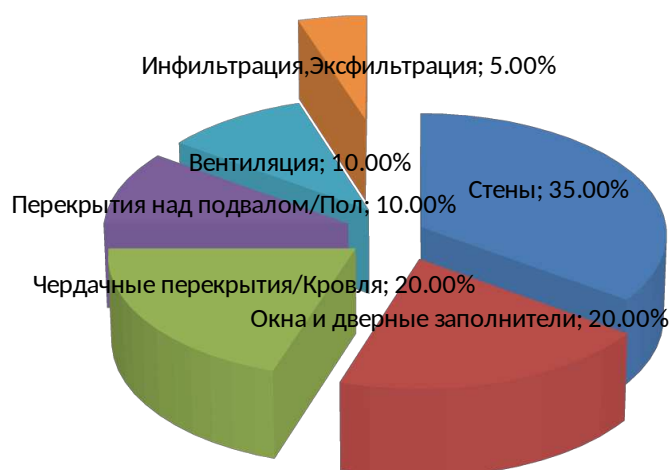


Рисунок 2.1 – Расход тепловой энергии в зимний период

Воздух в помещения поступает через ограждающие конструкции, имеющие пористые структуры, но основная его часть поступает через неплотности окон, наружных и балконных дверей, щели, стыки стеновых панелей.

Через дефекты герметичности наружной оболочки (щели на стыках оконных и дверных проемов, в местах присоединения межэтажных перекрытий и стен и т.д.) (Рисунок 2.2) в отопительный период постоянно проникает влажный холодный воздух, и уходит теплый, что оказывает негативное влияние на тепловую защиту здания.



Рисунок 2.2 - Дефекты герметичности ограждающих конструкций

Сведя к минимуму такую инфильтрацию воздушных масс, можно сэкономить существенное количество тепловой энергии.

## 2.1 Выводы по главе 2

Анализ теплотерь показал, что основное внимание при энергоаудите уделяется трансмиссионным теплотерям. Проведено исследование процесса охлаждения здания. Рассмотрены факторы, влияющие на скорость снижения температуры внутри помещения. Показано влияние инфильтрации холодного воздуха в помещение на процессы теплообмена.

## ГЛАВА 3 ДИАГНОСТИКА И КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ ДЕФЕКТОВ

### 3.1 Обоснование начала исследований

Началом для исследований послужили данные мониторинга среднестатистической улицы пригорода, которые показали, что только 27 из 66 домов установили пластиковые окна, что составило 42%. Объем инфильтрации был подсчитан на примере жилого дома, в котором установлены окна с деревянными переплетами.

Были произведены замеры и установлены точные местоположения утечек тепловой энергии (Рисунок 3.1.1).

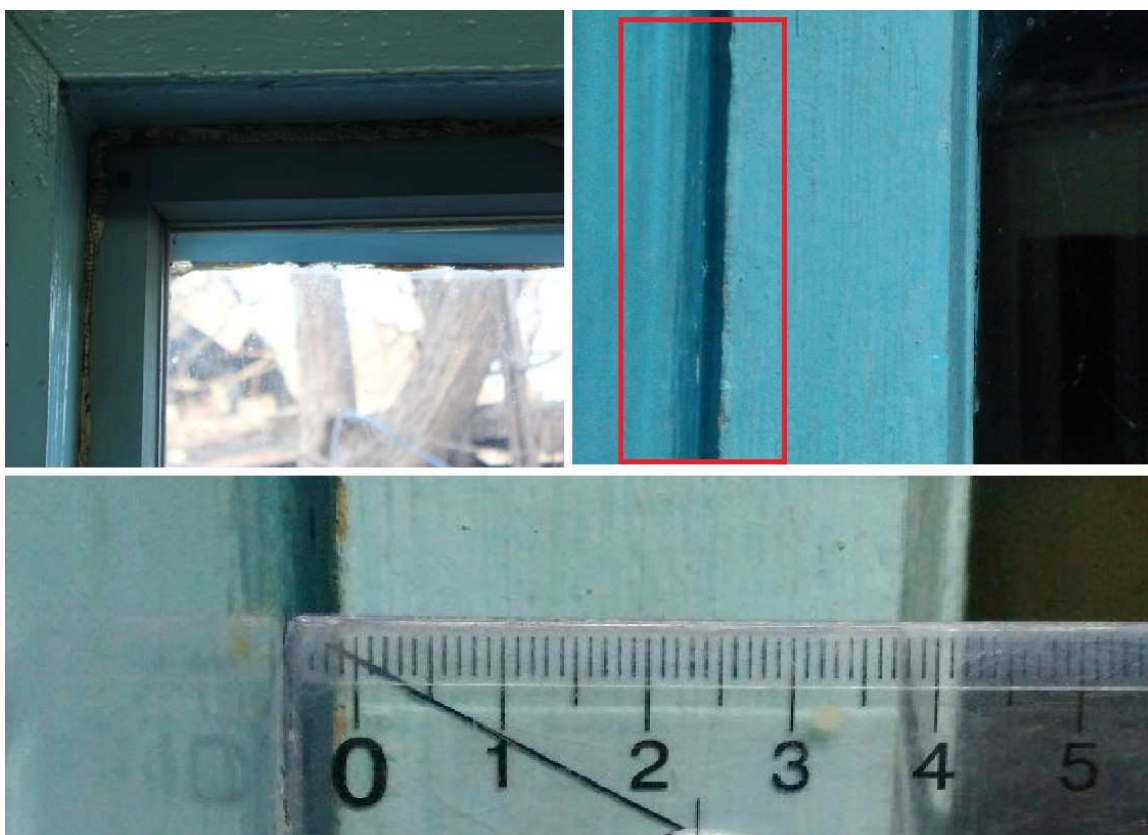


Рисунок 3.1.1 – Установление местоположения и замер дефекта (щели)

Объект исследования находится в городской зоне, поэтому тариф был взят для населения. Стоимость составлена в ценах первого полугодия 2019 года и она равна 2,11 рублей за 1 кВт/час.



При переводе расхода тепла за час, был произведен несложный подсчет расхода тепла за сутки. Он составил 5,46 кВт/сутки.

Расчетный период времени работы системы отопления здания, представляющий собой среднее статистическое число суток в году, когда средняя суточная температура наружного воздуха устойчиво равна и ниже 8 °С принята для жилого здания города Абакана и равна 223 суток [34].

Стоимость денежных затрат за сутки составила 11,52 рублей. За весь отопительный период на счетчиках жителей набегает дополнительных 2569 рублей. Дополнительные теплотери требуют дополнительных затрат на отопление помещения. В данном случае потребуется дополнительно 133 кг угля за отопительный период, кроме этого в атмосферу идет выброс 248,3 м<sup>3</sup> углекислого газа.

Этот перерасход рассчитан на одно окно, а в рассматриваемом объекте их количество равно 6 штук.

В результате расчетов истинная величина теплотери через инфильтрацию составила более 30% от общей величины теплотерь в условиях резко-континентального климата. Влияние негативных процессов инфильтрации рассмотрены в работах зарубежных ученых [35-38].

Для расчета были использованы следующие параметры:

$A_1$  – площадь световых проемов, м<sup>2</sup>;

$R_u$  – сопротивление воздухопроницанию световых проемов, принимаемые по СП 50.13330.2012;

$\Delta p_i$  – расчетный перепад давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждения на расчетном этаже, Па;

$i$  – номер этажа;

$A_2$  – площадь других ограждающих конструкций, м<sup>2</sup>;

$G_n$  – нормативная воздухопроницаемость наружных ограждающих конструкций, принимаемая по СП 50.13330.2012;

$\Delta p_1$  – расчетный перепад давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждения на первом этаже, Па;

$A_3$  – площадь щелей, неплотностей и проемов в наружных ограждающих конструкциях, м<sup>2</sup>;

$l$  - длина стыков стеновых панелей, м.

Расход на инфильтрацию воздуха просчитывается по формуле 3.1.1 [39].

$$G_i = 0,216 \times \sum \frac{A_1 \times \Delta p_i^{0,67}}{R_u} + \sum A_2 \times G_n \left( \frac{\Delta p_i}{\Delta p_1} \right)^{0,76} + 3456 \sum A_3 \times \Delta p_i^{0,5} + 0,5 \sum l \times \frac{\Delta p_i}{\Delta p_1}$$

(3.1.1)

Полученные данные послужили началом для проведения экспериментальных исследований для определения истинных величин теплопотерь. Так как полученные данные не могут быть объективными вследствие того, что здание частного дома относится к зданиям старой частной застройки. Поэтому для продолжения эксперимента было выбрано более современное здание лаборатории, относящееся к объектам малоэтажного строительства.

## 3.2 Анализ климатических характеристик Республики Хакасия

Анализ климата на территории региона строительства позволяет произвести более обоснованный выбор энергосберегающих мероприятий. При составлении анализа климата Хакасии использовались данные Хакасского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды - филиала Федерального государственного бюджетного учреждения «Среднесибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».

В данной диссертационной работе, интерес представляют климатические факторы, формирующие воздействие наружной атмосферы на тепловые потоки здания.

Климат резко континентальный. Зима является продолжительной и умеренно суровой. Лето тёплое, с редкими периодами жаркой погоды. Весна приходит во второй декаде апреля, а зима приходит в последней декаде октября.

Рассматриваемый район находится в пригороде г. Абакан в составе Минусинской котловины (Рисунок 3.2.1). Рельеф местности слабо всхолмленный с колебанием высот 200-400 м. по морфографической категории – долинный, по морфометрической категории – мелкий, с глубиной расчленения рельефа 10-25м. Русла преимущественно извилистые.

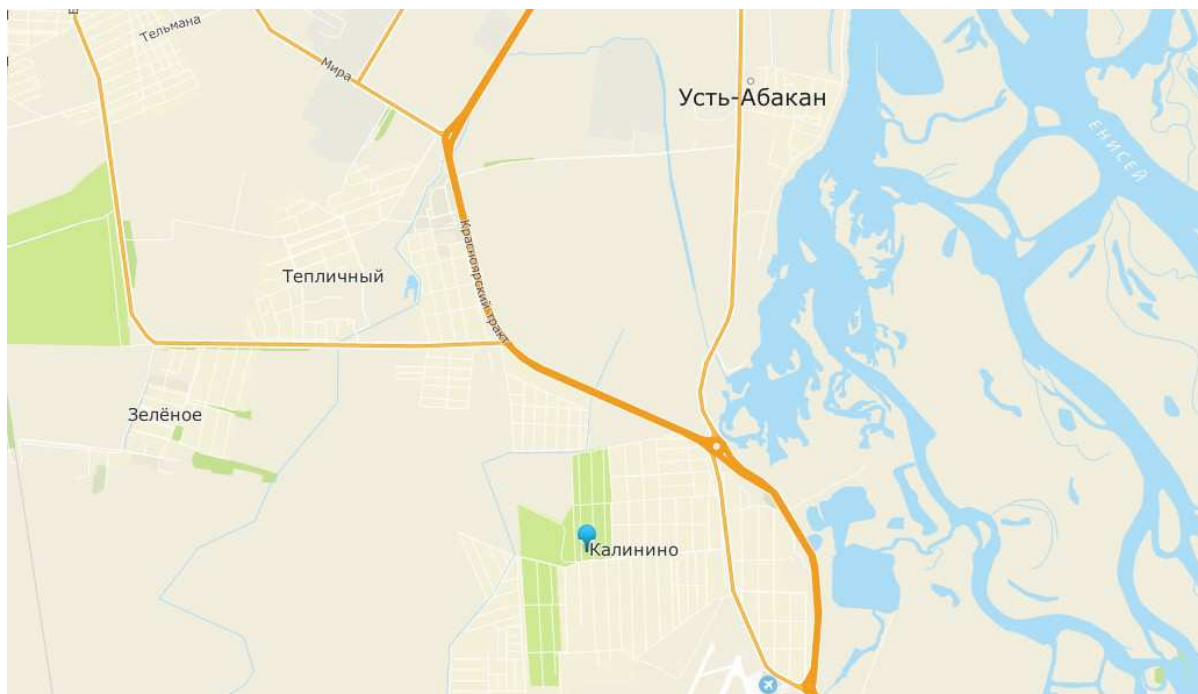


Рисунок 3.2.1 – Рассматриваемый район

Преобладающими являются черноземные и суглинистые почвообразующие пород. По долинам рек распространены суглино-супесчаные аллювиальные отложения.

Температура воздуха зимой в Минусинской котловине более низкая, чем в соседних окружающих районах, чему способствуют физико-географические факторы данного района, влияющие на формирование погоды.

Село Калинино находится в климатическом районе I-B, в сухой зоне. Климат города по данным многолетних метеорологических наблюдений, резко-континентальный, характеризуется коротким жарким летом, продолжительной холодной зимой, со значительными сезонными и суточными колебаниями температуры воздуха. В течение года преобладают ветры юго-западного направления.

В соответствии с СП 131.13330.2012 Строительная климатология [34], район строительства характеризуется следующими природно-климатическими условиями:

- средняя температура наиболее холодного периода – 27 °С;
- средняя температура наиболее холодных суток – 39°С;
- средняя температура наиболее холодной пятидневки – 37°С;
- абсолютно минимальная температура – 47 °С;
- средняя скорость ветра в январе 5 м/с;
- скоростной напор ветра 0,38 КПа;
- вес снегового покрова 1,2 кПа;
- высота снегового покрова 25 см.;
- количество осадков в год 362 мм.;
- нормативная глубина промерзания 2,8м.

На рисунках 3.2.2-3.2.4 показаны климатические характеристики исследуемого региона.

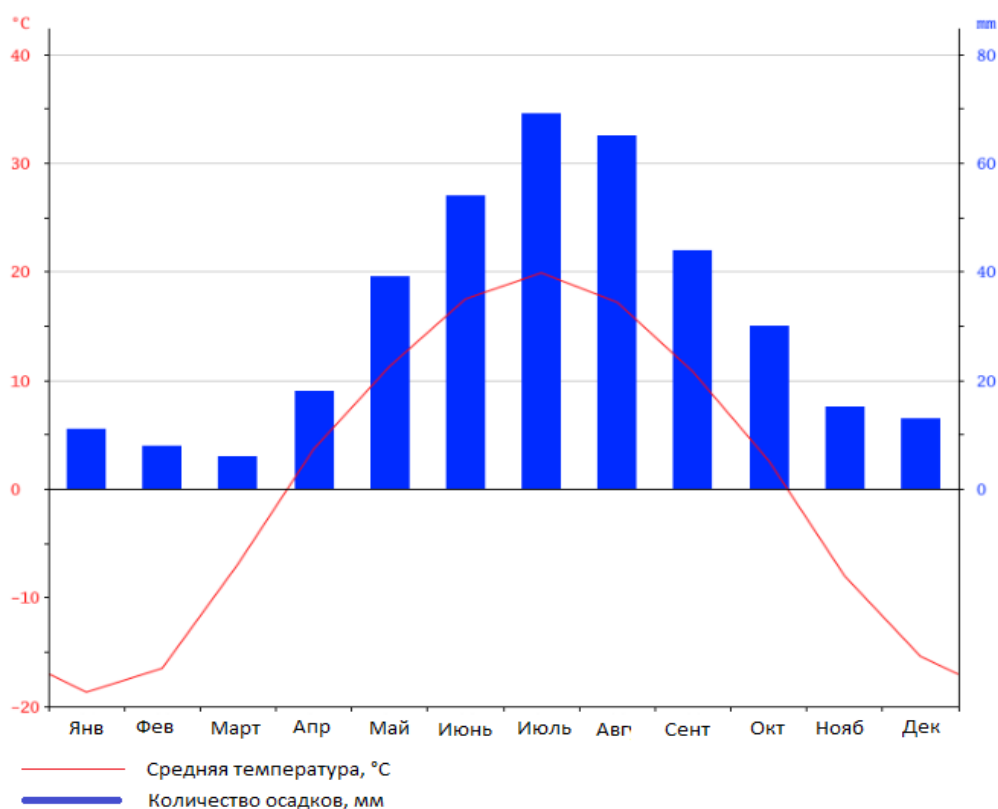


Рисунок 3.2.2 – Амплитуда колебаний температуры и количества осадков рассматриваемого района

Количество осадков, которое выпадает в Абакане в течение марта составляет 6,1 мм. Таким образом март является одним из самых сухих месяцев в году.

Количество осадков, которое выпадает в Абакане в течение июля составляет 69,2 мм. Таким образом июль является одним из самых дождливых месяцев в году.

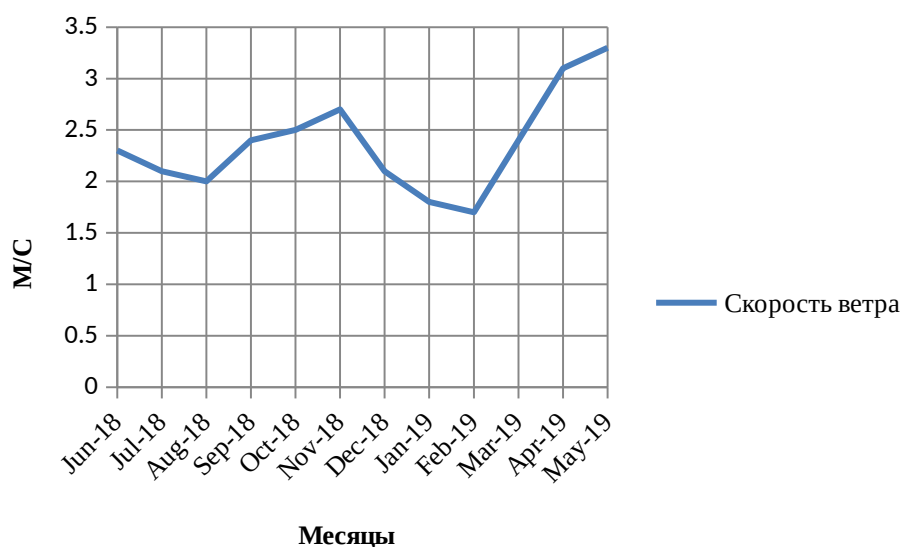


Рисунок 3.2.3 – Амплитуда колебаний усредненного показателя скорости ветра

Усредненный показатель силы ветра в феврале 2019 года составляет 1,7 м./с. Таким образом декабрь является одним из самых спокойных месяцев в период проведения исследований.

Усредненный показатель силы ветра в мае составляет 3,3 м./с. Таким образом май 2019 года является одним из самых ветреных месяцев в период проведения исследований.

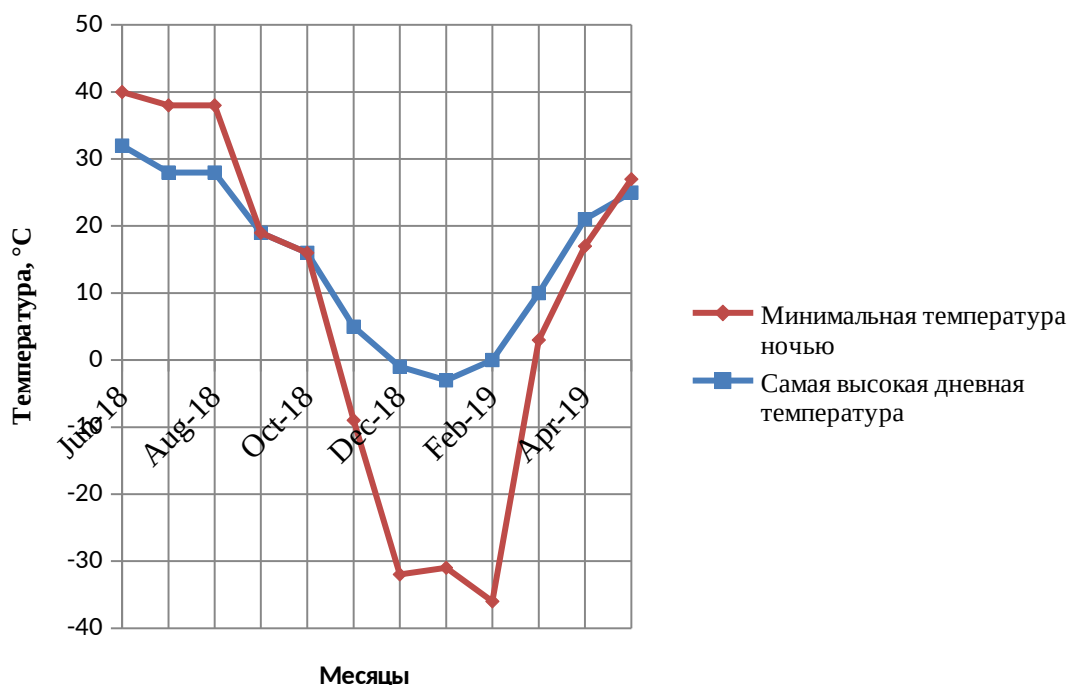


Рисунок 3.2.4 – Амплитуда колебаний температуры наружного воздуха

В ходе годового исследования колебаний месячной температуры, самой высокой днем и самой низкой ночью, положительные значения отмечаются с марта по октябрь и отрицательные – с ноября по март.

### 3.3 Объект исследований

#### 3.3.1 Объемно планировочное решение объекта исследований, расположенного по ул. Калинина в с. Калинино

Здание лаборатории имеет прямоугольную форму с размерами в плане 12,86 на 16,27 метра (Рисунок 3.3.1.1). Здание одноэтажное с подвалом.



Рисунок 3.3.1.1 – Здание лаборатории

В подвале здания (Рисунок 3.3.1.2) запроектирована испытательная геостроительная лаборатория. Для нужд лаборатории имеются вспомогательные помещения. Так же в подвале находится кухня и санузел с душевой. Разрезы представлен на рисунках 3.3.1.3, 3.3.1.4.

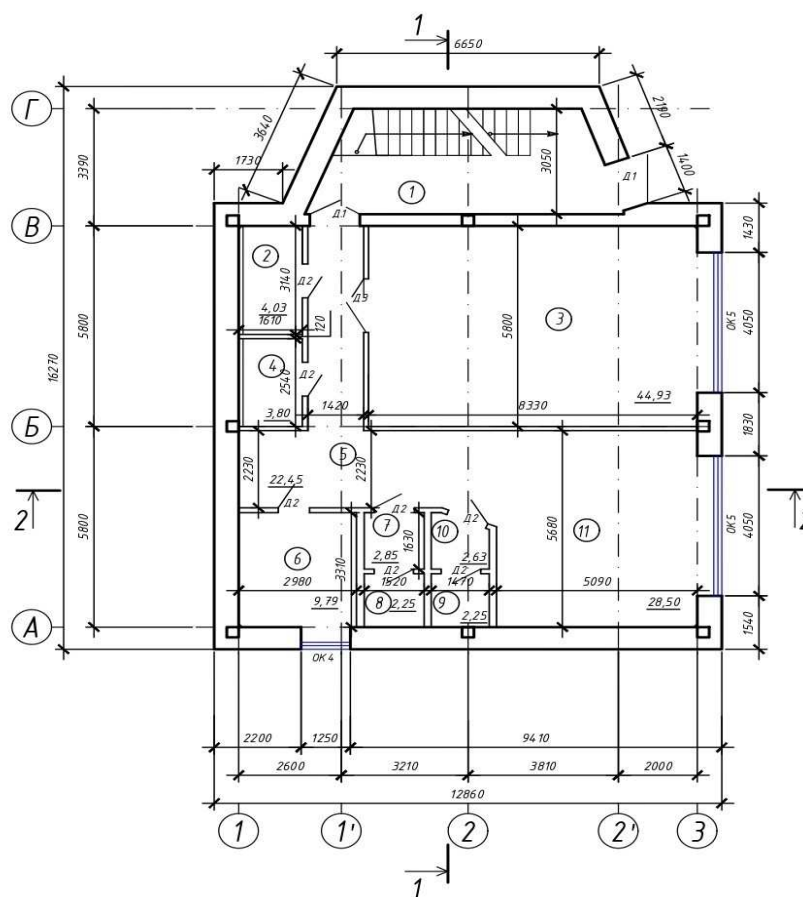


Рисунок 3.3.1.2 – План подвала

На первом этаже расположены кабинеты для офисных работников. Вход в здание осуществляется через центральную лестницу.

Высота здания – 6,3 м.

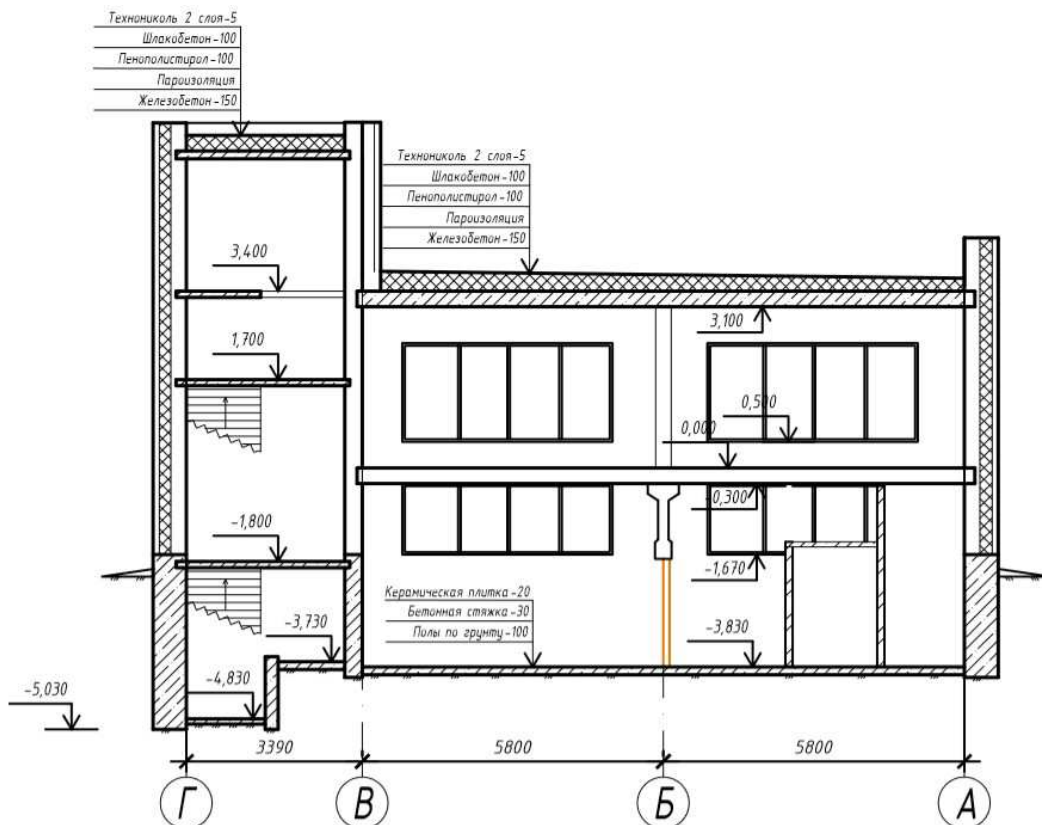


Рисунок 3.3.1.3 – Разрез 1-1

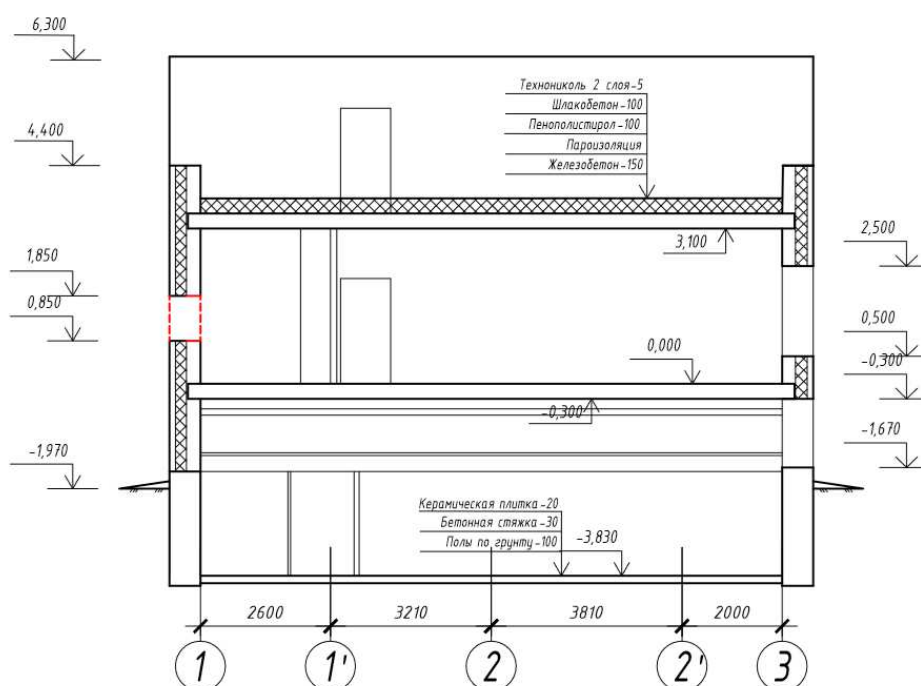


Рисунок 3.3.1.4 – Разрез 2-2



Отопление:

Низко температурная напольная система с применением льготной стоимости при ночном электропотреблении с накоплением тепла в баках-аккумуляторах, расходуемая теплота регулируется по температуре наружного и внутреннего воздуха. Тепло от баков распределяется по батареям.

Водоснабжение:

Водоснабжение осуществляется с помощью глубинной насосной станции установленной в техническом помещении, и подается на приборы по трубопроводу расположенному внутри здания.

Система канализации раздельная:

а) бытовая- от сантехоборудования туалетных и санузлов; б) производственная- от сантехприборов. Сброс стоков предусматривается в поселковую сеть.

Вентиляция:

Вентиляция запроектирована двух типов: механической и естественной. На момент исследований вентиляция естественная осуществляется с помощью окон, механическая - с помощью вытяжек будет установлена позднее.

### **3.3.2 Конструктивное решение**

Конструктивная схема здания: в подвале – каркасная, на первом этаже - панельная.

Фундаменты запроектированы монолитные ленточные железобетонные, под колонны – монолитные столбчатые.

Колонны монолитные железобетонные из бетона марки В25. Сечение 300×300 мм.

Лестница предусмотрена монолитная железобетонная.

Наружные стены запроектированы из панелей керамзитобетонных скрепленные между собой с помощью железобетонных сердечников, с отделкой фасада облицовочным керамическим кирпичом шоколадного оттенка.

Простенки между окнами выполнены из кирпича (Рисунок 3.3.2.1). Общая толщина наружных стен 680 мм, согласно теплотехническому расчету.

Перекрытие запроектировано монолитное железобетонное толщиной 180 мм, с конструкцией теплого пола толщиной 90 мм.

Кровля принята плоская. Водосток наружный, организованный по уклонам кровли к водоприемным воронкам далее по водосливным трубам диаметром 100 мм выходят за контур здания на 20 см (Рисунок 3.3.2.2).



Рисунок 3.3.2.2 – Выпуск водосливной трубы за контур здания

Окна – из ПВХ профилей (индивидуальный заказ)

Двери наружные металлические по индивидуальному заказу.

Перегородки выполнены из кирпича глиняного. Толщина перегородок 120мм.

### **3.4 Инструментальное обследование здания лаборатории**

Тепловизионное обследование ограждающих конструкций зданий проводится по ГОСТ 26629-85 «Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций» и позволяет осуществлять тепловизионный контроль качества изоляции и герметичности здания, выявлять участки повышенного содержания влаги.

Виды дефектов, которые устанавливаются тепловизионным обследованием:

- строительные дефекты, такие как инфильтрация или эксфильтрация воздуха, образующиеся в результате некачественно выполненных стыков элементов, либо при наличии сквозных трещин в ограждающих конструкциях;
- места повышенных теплопотерь в результате некачественной теплоизоляции;
- места, имеющие мостики холода, в результате которых образуется конденсация и промерзание конструкций ограждения;
- повреждения кровли, которые приводят к теплопотерям или скоплению влаги, в результате которых происходит преждевременное разрушение конструкции здания;
- дефекты установки дверных и оконных конструкций, которые создают дополнительные теплопотери.

Таблица 3.4.1 – Условия проведения тепловизионной съемки

Дата исследования:	09.02.2019	
Используемая камера:	FLIRB200	
Поле зрения		25°X 18,75°
Расстояние до объекта:	1.5 м	
Температура окружающего воздуха	+20°С	

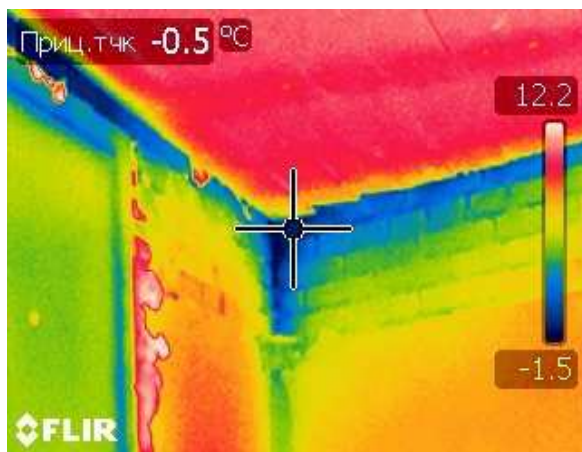


Рисунок 3.4.1 - Теплотери в углу в уровне примыкания кирпичной стены и перекрытия по оси В

Таблица 3.4.2 – Условия проведения тепловизионной съемки

Дата исследования:	09.02.2019	
Используемая камера:	FLIRB200	
Поле зрения		25°X 18,75°
Расстояние до объекта:	1.5 м	
Температура окружающего воздуха	+20°C	

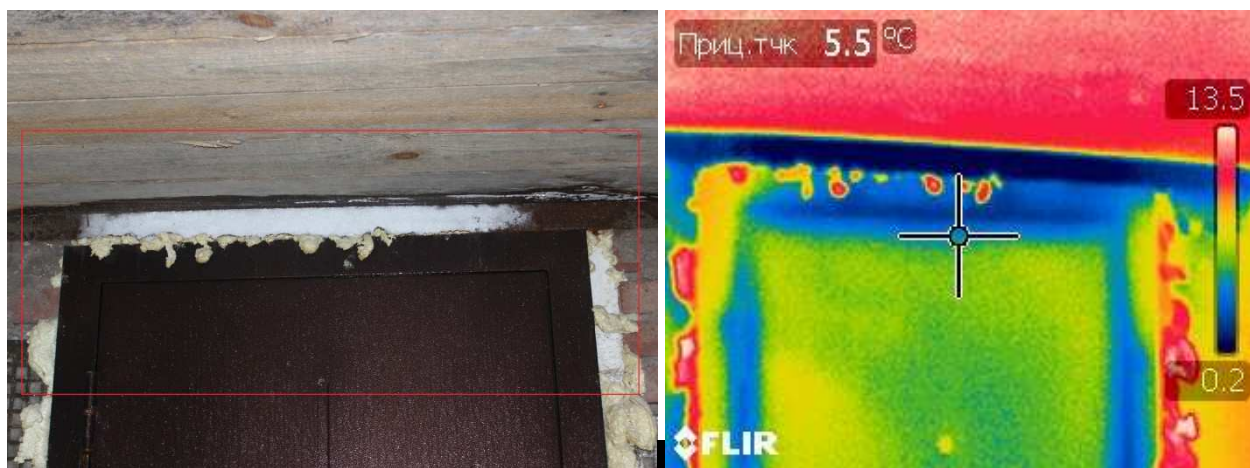


Рисунок 3.4.2 - Теплопотери над дверным проемом выхода на крышу

Таблица 3.4.3 – Условия проведения тепловизионной съемки

Дата исследования:	09.02.2019	
Используемая камера:	FLIRB200	
Поле зрения		25°X 18,75°
Расстояние до объекта:	1.5 м	
Температура окружающего воздуха	+18°C	



Рисунок 3.4.3 - Теплопотери в пороге уличной двери (лед под входной дверью)

Таблица 3.4.4 – Условия проведения тепловизионной съемки

Дата исследования:	09.02.2019	
Используемая камера:	FLIRB200	
Поле зрения		25°X 18,75°
Расстояние до объекта:	3 м	
Температура окружающего воздуха	+20°C	

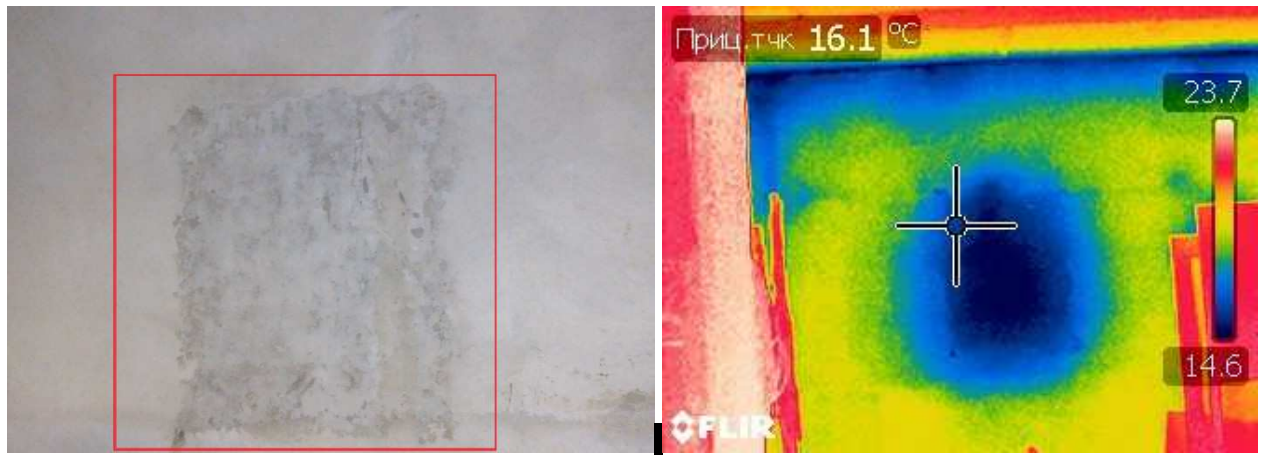


Рисунок 3.4.4 - Теплотери в месте невыполненного окна

Таблица 3.4.5 – Условия проведения тепловизионной съемки

Дата исследования:	09.02.2019	
Используемая камера:	FLIRB200	
Поле зрения		25°X 18,75°
Расстояние до объекта:	2 м	
Температура окружающего воздуха	+20°C	

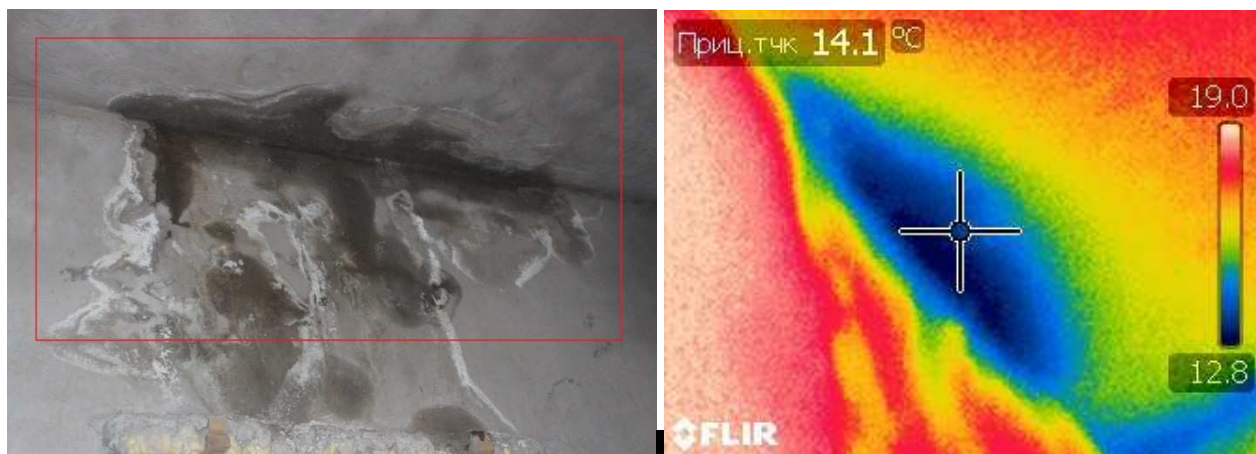


Рисунок 3.4.5 - Теплопотери в уровне примыкания перекрытия с кирпичной внутренней стеной в месте под дверным проемом выхода на крышу

Таблица 3.4.6 – Условия проведения тепловизионной съемки

Дата исследования:	09.02.2019	
Используемая камера:	FLIRB200	
Поле зрения		25°X 18,75°
Расстояние до объекта:	4 м	
Температура окружающего воздуха	+20°C	

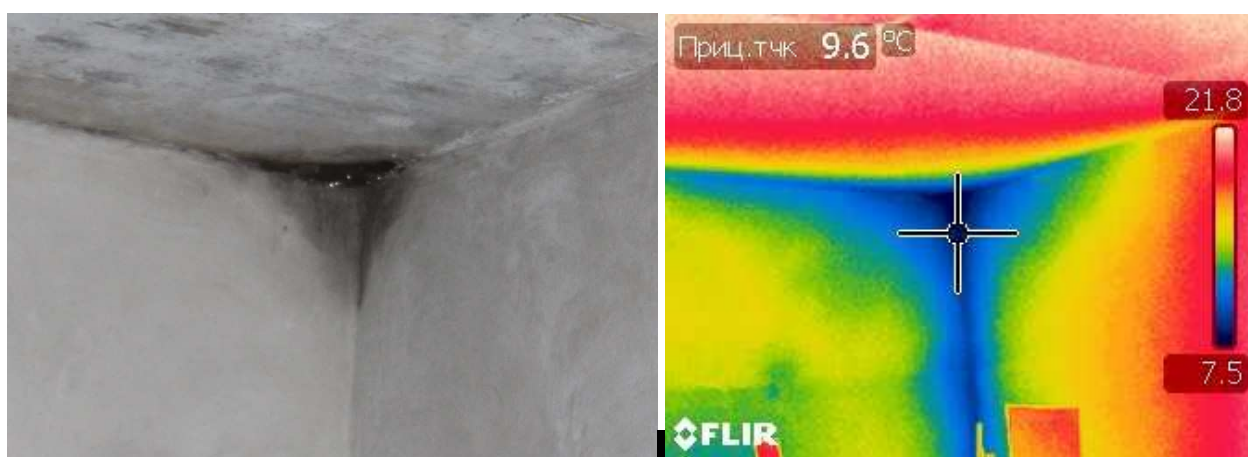


Рисунок 3.4.6 - Теплопотери в уровне примыкания перекрытия с кирпичной внутренней стеной в осях 1-В

Таблица 3.4.7 – Условия проведения тепловизионной съемки

Дата исследования:	09.02.2019	
Используемая камера:	FLIRB200	
Поле зрения		25°X 18,75°
Расстояние до объекта:	4 м	
Температура окружающего воздуха	+20°C	

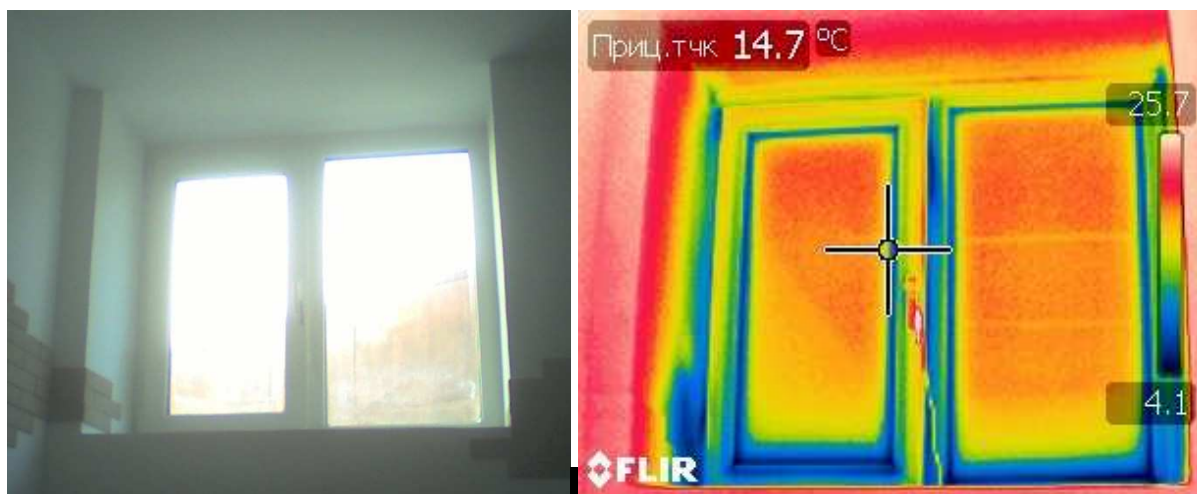


Рисунок 3.4.7 – Потери тепла через монтажные швы и уплотнительные резинки окна в подвале

Таблица 3.4.8 – Условия проведения тепловизионной съемки

Дата исследования:	09.02.2019	
Используемая камера:	FLIRB200	
Поле зрения		25°X 18,75°
Расстояние до объекта:	2.5 м	
Температура окружающего воздуха	+20°C	

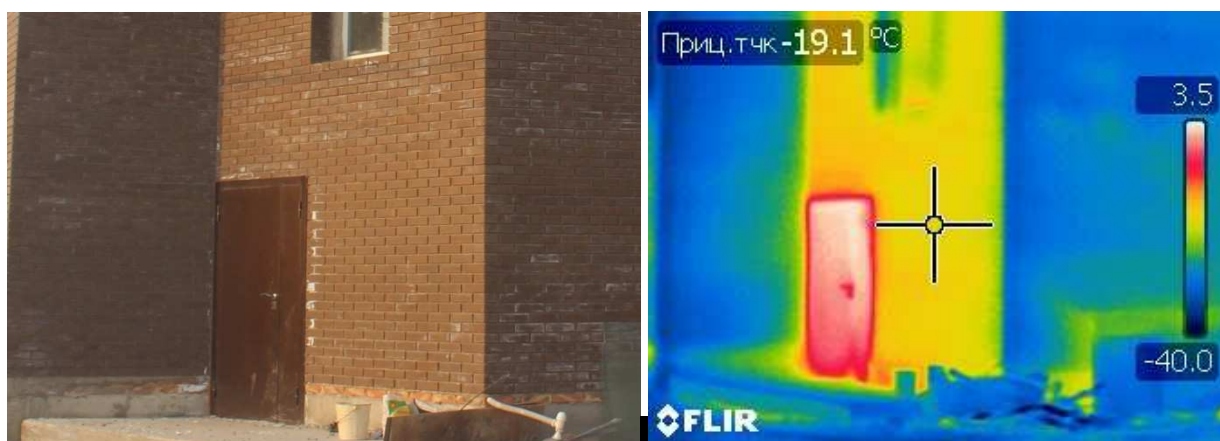


Рисунок 3.4.8 – Промерзание наружной двери

Таблица 3.4.9 – Условия проведения тепловизионной съемки

Дата исследования:	09.02.2019	
Используемая камера:	FLIRB200	
Поле зрения		25°X 18,75°
Расстояние до объекта:	9 м	
Температура окружающего воздуха	-32°C	





Рисунок 3.4.9 – Теплотери через цокольный узел торца с северной стороны здания лаборатории

Таблица 3.4.10 – Условия проведения тепловизионной съемки

Дата исследования:	09.02.2019	
Используемая камера:	FLIRB200	
Поле зрения		25°X 18,75°
Расстояние до объекта:	9 м	
Температура окружающего воздуха	-32°C	

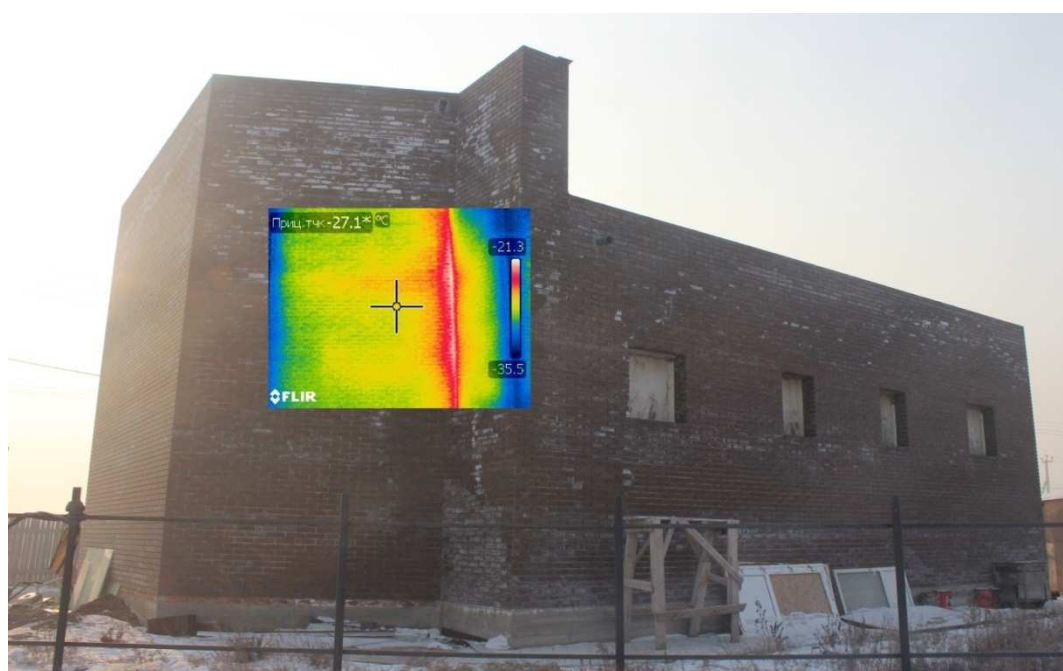


Рисунок 3.4.10 – Теплотери через угол сопряжения многослойных стен северного торца здания

Таблица 3.4.11 – Условия проведения тепловизионной съемки

Дата исследования:	09.02.2019	
Используемая камера:	FLIRB200	
Поле зрения		25°X 18,75°
Расстояние до объекта:	7 м	
Температура окружающего воздуха	-32°С	



Рисунок 3.4.11 – Теплотери через угол сопряжения многослойных стен восточного торца здания, теплотери в месте интенсивных высолов

Таблица 3.4.12 – Условия проведения тепловизионной съемки

Дата исследования:	09.02.2019	
Используемая камера:	FLIRB200	
Поле зрения		25°X 18,75°
Расстояние до объекта:	11 м	
Температура окружающего воздуха	-32°С	



Рисунок 3.4.12 – Теплотери через невыполненные окна торца с северной стороны здания лаборатории

Таблица 3.4.13 – Условия проведения тепловизионной съемки

Дата исследования:	09.02.2019	
Используемая камера:	FLIRB200	
Поле зрения		25°X 18,75°
Расстояние до объекта:	9 м	
Температура окружающего воздуха	-32°С	



Рисунок 3.4.13 – Теплотери в уровне покрытия западного торца здания

Таблица 3.4.14 – Условия проведения тепловизионной съемки

Дата исследования:	09.02.2019	
Используемая камера:	FLIRB200	
Поле зрения		25°X 18,75°
Расстояние до объекта:	9 м	
Температура окружающего воздуха	-32°С	

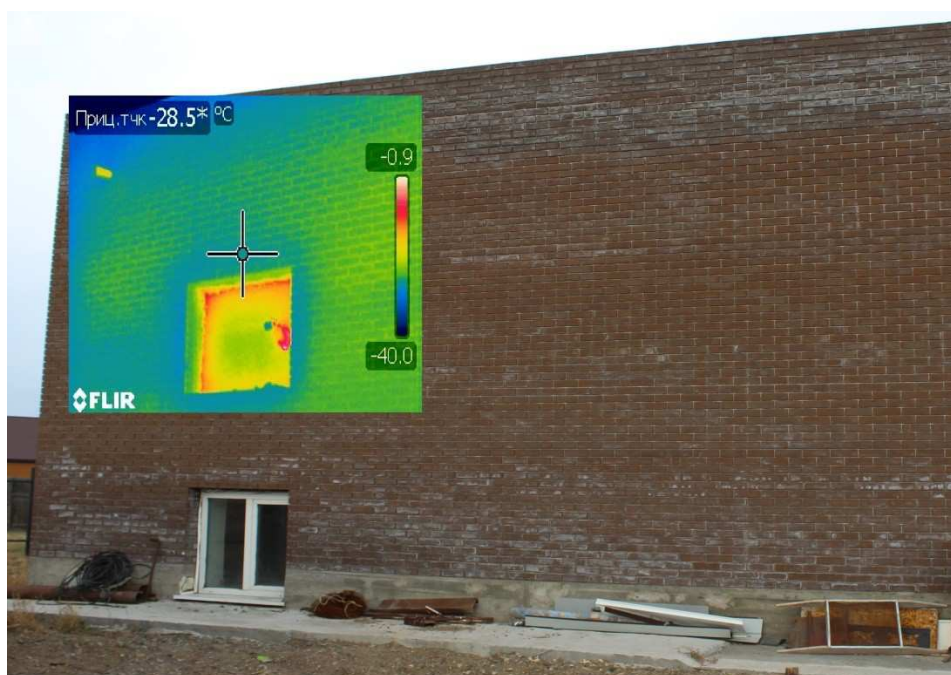


Рисунок 3.4.14 – Теплопотери через невыполненное окно западного торца здания лаборатории

Анализ полученных теплограмм показал что интенсивные утечки тепла осуществляются через узлы сопряжений, как и в работе о типологии дефектов теплопотерь [40] Халимов О.З. на первое место выносит теплопотери через железобетонный цоколь, так и в исследуемом здании лаборатории обнаружен такой мостик холода (Рисунок 3.4.11). Следом идут теплопотери через узлы сопряжений стен с покрытием, преимущественно в углах с образованием интенсивной влаги, либо изморози (Рисунок 3.4.1, Рисунок 3.4.6). Также не маловажны теплопотери через конструкции оконных и дверных заполнителей (Рисунок 3.4.7, Рисунок 3.4.8). Через стены тепло также уходит, унося с собой энергию через проемы невыполненных окон (Рисунок 3.4.4, Рисунок 3.4.13) и через саму толщу многослойной конструкции (Рисунок 3.4.10, Рисунок 3.4.12).

Однако энергопотери через многослойную конструкцию стены обусловлена не только трансмиссионными теплопотерями за счет теплопроводных включений, но и теплопотерями за счет такого явления как инфильтрация. В многослойных конструкциях процессы инфильтрации холодного воздуха осложнены взаимодействием инфильтрационных потоков с тепловыми и экфильтрационными. Локализация преимущественно в местах с интенсивными солевыми выносами (Рисунок 3.4.10, Рисунок 3.4.12).

### **3.4.1 Элементы незавершенного строительства здания лаборатории**

При обследовании здании лаборатории были выявлены элементы незавершенного строительства такие как отсутствие организованного водостока (Рисунок 3.3.2.2), вход в лабораторию осуществляется непосредственно на лестничную клетку (отсутствует тамбор), выход на кровлю также требует устройства тамбура. На первом этаже в осях 1, А в керамзитобетонной панели окна не прорублены (Рисунок 3.4.4, 3.4.13). Вентиляция представлена

временная из полипропиленовых канализационных труб диаметром 120 мм, имеющая выход через конструкцию незавершенного оконного проема (Рисунок 3.4.1.1).



Рисунок 3.4.1.1 – Временная вентиляция

Эти незавершенные элементы послужили индикаторами для обнаружения дефектов, которые приводят к существенным теплотерям, а также возможным ускорителем конструктивных разрушений.

Необходимость скорейшего ввода в эксплуатацию здания лаборатории обернулось непредвиденными негативными последствиями не только на параметры микроклимата помещений, но и на физико-химические структурные процессы материалов ограждающих конструкций.

### **3.5 Высолы на облицовочной версте как индикатор эксфильтрационных и эксфильтрационных теплотерь**

Многолетние наблюдения за высолом в здании лаборатории (Рисунок 3.5.1) привели к необходимости более тщательного изучения причин их образования.



Рисунок 3.5.1 – Северный торец здания лаборатории

С целью выяснения причин больших тепловых потерь и ухудшения теплового режима, микроклимата помещений, были выполнены натурные обследования малоэтажного гражданского здания лаборатории для подтверждения теории о том, что высолы на поверхности облицовочного кирпича это не что иное как результат эксфильтрации в первую очередь миграция солей (Рисунок 3.5.2), происходящая в результате конденсации влаги на границе раздела положительных и отрицательных температур.

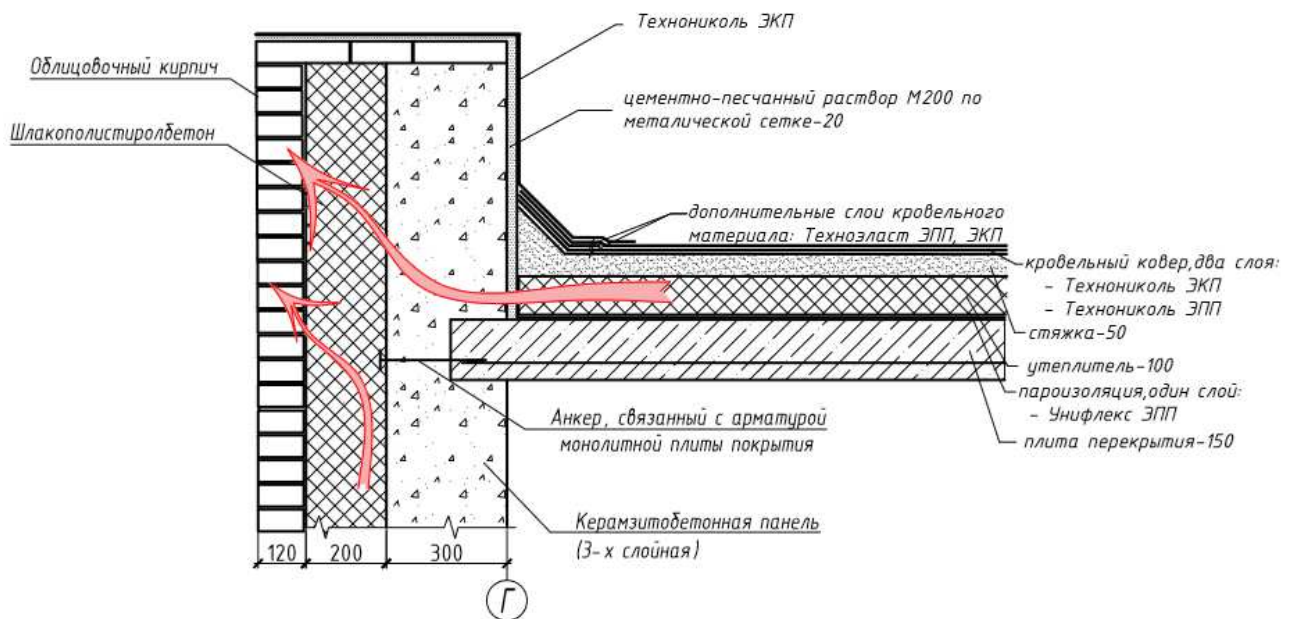


Рисунок 3.5.2 - Схема миграции солей по многослойной конструкции стены

Конструктивная схема здания стеновая с железобетонными сердечниками на стыках керамзитобетонных панелей, на которые передается нагрузка от монолитных железобетонных перекрытий. Однако при анализе тепловизионных снимков с северной стороны здания (Рисунок 3.4.11) не обнаружено влияния этих теплопроводных включений – утеплитель из шлакополистиролбетона их эффективно нейтрализует.

В тоже время инфильтрационные потоки холодного воздуха через стыки невыполненных окон (Рисунок 3.5.3) показывают на понижение температуры наружной поверхности в районе этих стыков.

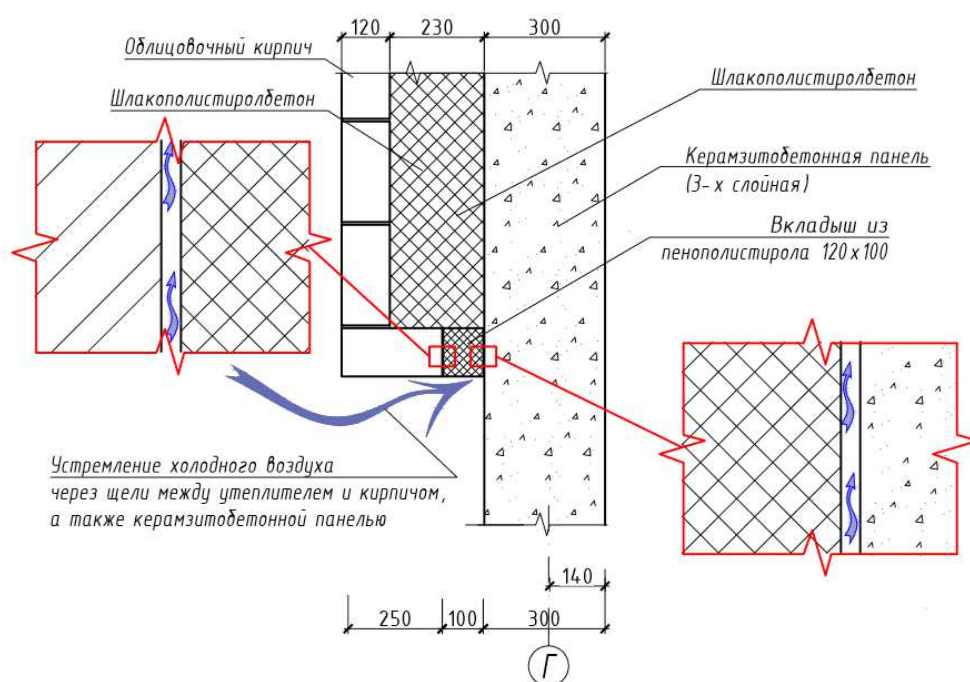


Рисунок 3.5.3– Инфильтрационные потоки холодного воздуха через стыки невыполненных окон

До прорубки керамзитобетонных панелей для установки в них окон сопряжение облицовочной версты с керамзитобетонной панелью выполнено через слой пенопласта (Рисунок 3.5.3). Но куски пенопласта уложены насухо без проклейки и в щели между панелью и пенопластом, а также между пенопластом и обрамлением окна из облицовочной версты устремляется холодный воздух.

Визуальный мониторинг за динамикой распространения высолов (Рисунок 3.5.4) показал, что интенсивность выносов соли происходит в период



установления отрицательных температур, а следовательно исключение атмосферных осадков в виде дождя. Кроме того, что высолы ухудшают внешний облик, они также приводят к деструкции кирпича и, как следствие, к снижению его долговечности.



Рисунок 3.5.4 – Мониторинг за высолами на поверхности облицовочного кирпича здания лаборатории

Анализ источников образования высолов показал, что ими являются водорстворимые соли, присутствующие в кирпиче и в строительном растворе [41-46]. Появление высолов провоцируется миграцией влаги в пористой структуре кирпичной кладки.

Кононова О.В [45] считает, что более весомой и значимой по проявлению причиной образования высолов на фасадах является миграция портландита на поверхность стены из кладочного раствора при изменении температуры и влажности окружающей среды.

Инчик В.В в диссертации [41] отмечал, что интенсивное образование высолов идет в весенне-летний период (май-август), однако в противовес на основании полученных наблюдений отмечено, что интенсивный прогресс распространения высолов на стене кирпичного здания лаборатории происходит в период с октября по март.

Результаты визуального мониторинга наружных стен здания лаборатории показали, что поверхность лицевого кирпича фасада имеет многочисленные

шелушения и отслоения поверхностного слоя (Рисунок 3.5.5) вследствие отторжения покрытия кристаллизующимися солями с поверхности кирпича.



Рисунок 3.5.5 – Шелушения и отслоения поверхностного слоя лицевого кирпича

Первоначально, в результате активной миграции влаги через ограждающую конструкцию на внешнюю поверхность кладки проникают компоненты в виде растворов солей. Вода из раствора испаряется, а соли кристаллизуются на поверхности кирпича, приводя к ухудшению внешнего вида здания и отторжению покрытия [47, 48].

В процессе перекристаллизации солей происходит увеличение объема кристаллов, которые вследствие возникающего кристаллизационного давления являются потенциальными источниками шелушения поверхности кирпича [49, 50]. Отрицательные температуры оказывают схожее влияние: при замерзании кристаллы льда имеют больший объем, чем вода в виде жидкости. В порах кирпича создается сильное давление кристаллизации, что приводит к структурному разрушению кирпича (Рисунок 3.5.6).



Рисунок 3.5.6 – Разрушение лицевого кирпича на восточном торце здания лаборатории

Для взятия анализа влажностного состояния утеплителя представленного в виде монолитного шлакополистеролбетона был выполнен демонтаж разрушенного кирпича и кирпичей рядом (Рисунок 3.5.7). Влажность составила 20 %.



Рисунок 3.5.7 – Демонтаж разрушенного лицевого кирпича на восточном торце здания лаборатории

Для устранения высолов применяют обработку химическими составами на кислотной основе и механическую очистку с помощью щеток или водовоздушной струи [45, 46, 51, 52]. Для удаления солевого выноса и

дополнительной защиты стены необходимо определить его химический состав и подобрать оптимальное средство. Данные способы не исключают рецидива появления новых высолов в процессе дальнейшей эксплуатации.

Анализ динамики высолов в зимний период свидетельствует о росте химических процессов на контакте облицовочной версты и слоя утеплителя, в котором 60-65% составляет шлак. Эти водорастворимые соли мигрируют к фронту промерзания. Однако причиной ускоренной миграции в зимний период является эксфильтрация теплого влажного воздуха через незагерметизированные стыки обрубленных панелей при монтаже лестничной клетки (Рисунок 3.4.10). Также в парапетной части наибольшие высолы обусловлены проникновением парообразной влаги через монолитное железобетонное перекрытие в слой теплоизоляции, оттуда – в кирпичную кладку парапета (Рисунок 3.5.2). Исследования процессов тепломассопереноса, влагопереноса в различных конструкциях показали, что комбинация взаимодействия инфильтрации и эксфильтрации ведет к большим тепловым потерям и ухудшению теплового режима, микроклимата помещений.

Таким образом, результаты обследований показали, что применение эффективных теплоизоляционных материалов бывает не достаточно, на снижение тепловой эффективности наружных ограждений непосредственное влияние оказали ошибки и дефекты при проектировании и возведении конструкций и отсутствие системы искусственной вентиляции.

### **3.6 Расчет паропроницаемости**

Водяной пар является одним из компонентов атмосферного воздуха. В помещениях лаборатории пар образуется как результат жизнедеятельности человека, работы технологического оборудования (дыхание, мойка инвентаря, сушка образцов грунта и т.п.). Даже при удалении избытков водяного пара из помещений системами вентиляции водяные пары будут попадать в поры ограждающих конструкций зданий, двигаясь изнутри наружу. В связи с тем,

что в ограждающих конструкциях возможна конденсация пара и постепенное разрушение строительных конструкций, одна из важных задач строительства – спроектировать наиболее энергоэффективные конструкции таким образом, чтобы избежать конденсации водяного пара в них. В настоящее время решение данной задачи основывается на [55].

Наружные водяные пары могут проникнуть в здание двумя способами. Один из которых – диффузия, второй – с током воздуха [56, 57, 58, 59].

Паропроницаемость теплоизоляционных материалов существенно влияет на влагоперенос через ограждающие конструкции. В свою очередь, это является одним из важных критериев, оказывающих влияние на термическое сопротивление конструкции [60, 61].

Расчет произведен в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий [26].

СП 131.13330.2012 Строительная климатология [34].

СП 345.1325800.2017 Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты [54].

Исходные данные:

Район строительства: Абакан

Относительная влажность воздуха:  $\varphi_v=50\%$

Тип здания или помещения: Административные и бытовые

Вид ограждающей конструкции: Наружные стены

Расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания:  $t_v=22^\circ\text{C}$

Влажностный режим помещения: сухой

Расчетная температура наружного воздуха:  $t_n=-37^\circ\text{C}$

Продолжительность отопительного периода:  $z_{от}=223\text{сут.}$

Средняя температура наружного воздуха:  $t_{ов}=-7.9^\circ\text{C}$

ГСОП =  $6667.7^\circ\text{C}\cdot\text{сут}$

$$a=0.00035, b=1.4$$

$$a_{\text{ext}}=23$$

$$a_{\text{int}}=8.7$$

Зона влажности-Сухая

Условия эксплуатации А

Согласно п.8.5.5 СП 50.13330.2012 плоскость максимального увлажнения находится на поверхности выраженного теплоизоляционного слоя из полистиролбетона ( $\rho=200$  кг/м.куб), термического сопротивление которого больше  $2/3 R_0^{\text{усл}}$  ( $R_2=2.86\text{м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт}$ ,  $R_0^{\text{усл}}=3.87\text{м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт}$ )

Определим паропроницаемость  $R_n$ ,  $\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}/\text{мг}$ , ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации)

$$R_n=0.3/0.11+0.2/0.12=4.39 \text{ м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}/\text{мг}$$

Сопротивление паропрооницанию  $R_n$ ,  $\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}/\text{мг}$ , должно быть не менее нормируемых сопротивлений паропрооницанию, определяемых по формулам 3.6.1 и 3.6.2

$$R_{n1}^{mp} = \frac{(e_g - E) R_{n,h}}{(E - e_n)} \quad (3.6.1)$$

$$R_{n2}^{mp} = \frac{0.0024 z_0 (e_g - E_0)}{\rho_w \delta_w \Delta w + \eta} \quad (3.6.2)$$

где  $e_b$  - парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха, определяемое по формуле 3.6.3

$$e_b = (\varphi_b/100)E_b \quad (3.6.3)$$

$E_b$  - парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре  $t_b$  определяется по формуле 3.6.4: при  $t_b = 22^\circ\text{C}$

$$E_g = 1.84 \times 10^{11} \exp\left(-\frac{5330}{273+t}\right) = 1.84 \times 10^{11} \exp\left(-\frac{5330}{273+22}\right) = 2619 \text{ Па} \quad (3.6.4)$$

Тогда

$$e_b = (50/100) \times 2619 = 1310 \text{ Па}$$

$E$  - парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации, определяемое по формуле 3.6.5

$$E = (E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3) / 12, \quad (3.6.5)$$

где  $E_1, E_2, E_3$  - парциальные давления водяного пара, Па, принимаемые по температуре  $t_i$ , в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов;  $z_1, z_2, z_3$ , - продолжительность, мес, соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, определяемая с учетом следующих условий:

а) к зимнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже минус 5 °С;

б) к весенне-осеннему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха от минус 5 до плюс 5 °С;

в) к летнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха выше плюс 5 °С.

Для определения  $t_i$  определим  $\sum R$ -термическое сопротивление слоя ограждения в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации

$$\sum R = 0.2/0.07 + 0.3/0.44 + 1/8.7 = 3.65 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$$

Установим для периодов их продолжительность  $z_i$ , сут, среднюю температуру  $t_i$ , °С, согласно СП 131.133330.2012 и рассчитаем соответствующую температуру в плоскости возможной конденсации  $t_i$ , °С, по формуле 3.6.6 для климатических условий Абакан

$$t_x = t_g - \frac{t_g - t_n}{R_0^{уч}} R_x \quad (3.6.6)$$

зима (январь, февраль, март, ноябрь, декабрь)

$z_1 = 5$  мес;

$$t_1 = [(-25.5) + (-18.5) + (-8.5) + (-9.5) + (-17.9)] / 5 = -16 \text{ °С}$$

$$t_1 = 22 - (22 - (-16)) \cdot 3.65 / 3.87 = -13.8 \text{ °С}$$

весна-осень (апрель, октябрь)

$$z_2=2\text{мес};$$

$$t_2 = [(2.9)+(1.6)]/2=2.3^\circ\text{C}$$

$$t_2=22-(22-(2.3))3.65/3.87=3.4^\circ\text{C}$$

лето (май,июнь,июль,август,сентябрь)

$$z_3=5\text{мес};$$

$$t_3 = [(10.5)+(17.3)+(19.5)+(16.4)+(9.9)]/5=14.7^\circ\text{C}$$

$$t_3=22-(22-(14.7))3.65/3.87=15.1^\circ\text{C}$$

По температурам( $t_1, t_2, t_3$ ) для соответствующих периодов года определим по формуле 3.6.4 парциальные давления ( $E_1, E_2, E_3$ ) водяного пара  $E_1=215.9$  Па,  $E_2=776.3$  Па,  $E_3=1698.8$  Па.

Определим парциальное давление водяного пара  $E$ , Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации ограждающей конструкции для соответствующих продолжительностей периодов  $z_1, z_2, z_3$

$$E=(215.9 \cdot 5+776.3 \cdot 2+1698.8 \cdot 5)/12=927.2\text{Па.}$$

Сопротивление паропрооницанию  $R_{п.н}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$ , части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации, определяется по формуле 3.6.7

$$R_i = \frac{\delta_i}{\mu_i} = \frac{0.12}{0.13} = 0.92 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг} \quad (3.6.7)$$

Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха  $e_n$ , Па, за годовой период определяется по СП 131.13330.2012 (таблица 7.1)

$$e_n=(120+140+260+430+670+1170+1500+1320+880+490+250+160)/12=616$$

Па

По формуле 3.6.1 определим нормируемое сопротивление паропрооницанию из условия недопустимости накопления влаги за годовой период эксплуатации:

$$R_{н1}^{TP}=(1310-927.2)0.92/(927.2-616)=1.13\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$$

Для расчета нормируемого сопротивления паропрооницанию  $R_{н2}^{TP}$  из условия ограничения влаги за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха берем определенную по таблице 5.1 СП



131.13330.2012 продолжительность этого периода  $z_0$ , сут, среднюю температуру этого периода  $t_0$ , °C:  $z_0 = 151$  сут,  $t_0 = -16$ °C

Температуру  $t_0$ , °C, в плоскости возможной конденсации для этого периода определяют по формуле 3.6.6

$$t_0 = 22 - (22 - (-16)) \cdot 3.65 / 3.87 = -13.8 \text{°C}$$

Парциальное давление водяного пара  $E_0$ , Па, в плоскости возможной конденсации определяют по формуле 3.6.4 при  $t_0 = -13.8$ °C равным

$$E_0 = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330 / (273 + (-13.8))) = 215.9 \text{Па.}$$

Предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги полистиролбетона ( $\rho = 200$  кг/м.куб) и кирпичной кладки согласно таблице 10 СП 50.13330.2012  $\Delta w_1 = 6\%$   $\Delta w_2 = 2\%$  соответственно. Средняя упругость водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами, согласно СП 131.13330.2012 равна  $e_{н.отр} = 186$  Па.

Коэффициент  $\eta$  определяется по формуле 3.6.9

$$\eta = \frac{0.0024 (E_0 - e_{н.отр}) z_0}{R_{n,н}} = \frac{0.0024 (215.9 - 186) 151}{0.92} = 11.8 \quad (3.6.9)$$

Определим  $R_{n2}^{тп}$  по формуле 3.6.2

$$R_{n2}^{тп} = 0.0024 \cdot 151 (1310 - 215.9) / (200 \cdot (0.2/2 \cdot 6 + 0.12/2 \cdot 2) + 11.8) = 2.54$$

м<sup>2</sup>·ч·Па/мг.

Условие паропроницаемости выполняются  $R_n > R_{n1}^{тп}$  ( $4.39 > 1.13$ ),  
 $R_n > R_{n2}^{тп}$  ( $4.39 > 2.54$ )

### **3.7 Расчет распределения парциального давления водяного пара по толще конструкция ограждения и определение возможности образования конденсата в толще ограждения (расчет точки росы)**

Для проверки конструкции на наличие зоны конденсации внутри конструкции ограждения определяем сопротивление паропроницанию ограждения  $R_n$  по формуле 3.6.7 (здесь и далее сопротивлением влагообмену у внутренней и наружной поверхностях пренебрегаем).

$$R_n = 0.12/0.13 + 0.2/0.12 + 0.3/0.11 = 5.32 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}.$$

Определяем парциальное давление водяного пара внутри и снаружи конструкции ограждения по формуле 3.7.1 и 3.6.4

$$e_e = \frac{\varphi_e}{100} E_e \quad 3.7.1$$

$$t_b = 22^\circ\text{C}; \varphi_b = 50\%;$$

$$e_b = (50/100) \times 2619 = 1310 \text{ Па};$$

$$t_n = -25.5^\circ\text{C}$$

где  $t_n$  - средняя месячная температура наиболее холодного месяца в году принимаемая по таблице 5.1 СП 131.13330.2012.

$$\varphi_n = 79\%;$$

где  $\varphi_n$  - средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца, принимаемая по таблице 3.1 СП 131.13330.2012.

$$e_n = (79/100) \times 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273+(-25.5))) = 65 \text{ Па}$$

Определяем температуры  $t_i$  на границах слоев по формуле 3.6.6, нумеруя от внутренней поверхности к наружной, и по этим температурам - максимальное парциальное давление водяного пара  $E_i$  по формуле (8.8) СП 50.13330.2012:

$$t_1 = 22 - (22 - (-25.5)) \cdot (0.115) \cdot 0.92 / 3.56 = 20.6^\circ\text{C};$$

$$e_{b1} = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273+(20.6))) = 2402 \text{ Па}$$

$$t_2 = 22 - (22 - (-25.5)) \cdot (0.115 + 0.68) / 3.87 = 12.2^\circ\text{C};$$

$$e_{b2} = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273+(12.2))) = 1407 \text{ Па}$$

$$t_3 = 22 - (22 - (-25.5)) \cdot (0.115 + 3.54) / 3.87 = -22.9^\circ\text{C};$$

$$e_{b3} = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273+(-22.9))) = 102 \text{ Па}$$

$$t_4 = 22 - (22 - (-25.5)) \cdot (0.115 + 3.71) / 3.87 = -24.9^\circ\text{C};$$

$$e_{b4} = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273+(-24.9))) = 86 \text{ Па}$$

Рассчитаем действительные парциальные давления  $e_i$  водяного пара на границах слоев по формуле 3.7.2

$$e_i = e_e - (e_e - e_n) \sum R/R_n \quad 3.7.2$$

где  $\sum R$  - сумма сопротивлений паропроницанию слоев, считая от внутренней поверхности. В результате расчета получим следующие значения:

$$e_1 = 1310 \text{ Па}$$

$$e_2 = 1310 - (1310 - (65)) \cdot (2.73) / 5.32 = 671.1 \text{ Па};$$

$$e_3 = 1310 - (1310 - (65)) \cdot (4.4) / 5.32 = 280.3 \text{ Па};$$

$$e_4 = 65 \text{ Па}$$

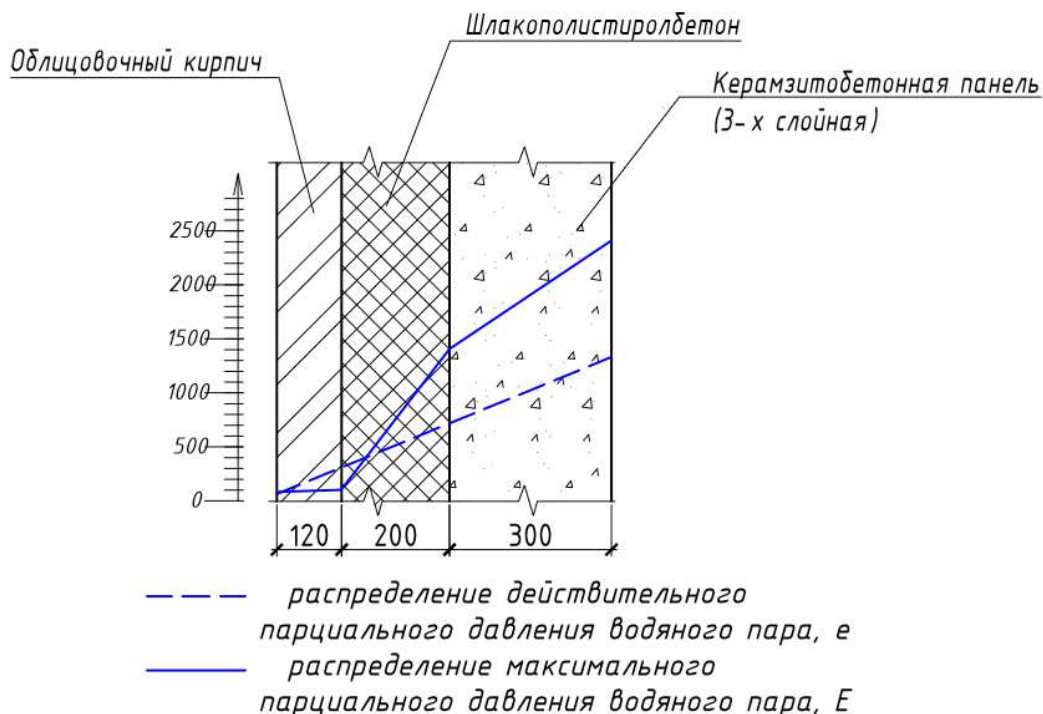


Рисунок 3.7.1 – Кривые распределения действительного и максимального парциального давления

Вывод: Кривые распределения действительного и максимального парциального давления пересекаются. Возможно выпадение конденсата в слое из шлакополистеролбетона.

### 3.8 Расчет инфильтрации холодного воздуха в помещение лаборатории

Потеря тепла при перемещении воздуха через ограждающие конструкции, является важной проблемой, которую необходимо решить, так

как неорганизованный воздухообмен оказывает значительное влияние на остальные компоненты всей системы энергетических затрат [62, 63, 64].

Потери тепла на нагрев воздуха при инфильтрации тесно взаимосвязаны с параметрами внешней среды, к которым можно отнести: температуру воздуха, скорость ветра, атмосферное давление. Разница показателей температуры внешнего и наружного воздуха в значительной мере вызывает энергопотери. Однако в последнее время особый акцент исследователи делают на том, что не менее важной составляющей в этом вопросе является воздушная среда, в частности — ветровые характеристики района и качество внешнего воздуха [65, 66, 67, 68, 69, 70, 71].

Основная теплопотеря за счет инфильтрации идет через конструкции оконных и дверных заполнителей [72, 73].

Расход на инфильтрацию воздуха просчитывается по формуле 3.1.1 [38].

$$G_i = 0,216 \times \sum \frac{A_1 \times \Delta p_i^{0,67}}{R_u} + \sum A_2 \times G_n \left( \frac{\Delta p_i}{\Delta p_1} \right)^{0,76} + 3456 \sum A_3 \times \Delta p_i^{0,5} + 0,5 \sum l \times \frac{\Delta p_i}{\Delta p_1}$$

В первой части уравнения первое слагаемое суммы описывает инфильтрацию световых проемов, второе – воздухопроницаемость стен, третье – поступление воздуха в помещение через щели, неплотности и проемы в наружных ограждениях, четвертое – воздухопроницаемость стыков стеновых панелей.

Для расчета были использованы следующие параметры:

$A_1 = 16,2 \text{ м}^2$  – площадь световых проемов,;

$R_u = 3,4$  – сопротивление воздухопроницанию световых проемов, принимаемые по СП 50.13330.2012,;

$i$  – номер этажа;

$A_2$  – площадь других ограждающих конструкций,  $\text{м}^2$ ;

$G_n = 4$  – нормативная воздухопроницаемость наружных ограждающих конструкций, принимаемая по таблице 7 СП 50.13330.2012;

$A_3 = 0,0036 \text{ м}^2$  – площадь щелей, неплотностей и проемов в наружных ограждающих конструкциях,;

$l = 85,23$  - длина стыков стеновых панелей, м.

$\Delta p_1$  – расчетный перепад давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждения на первом этаже, Па;

$\Delta p_i$  – расчетный перепад давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждения на расчетном этаже, Па, рассчитываем по формуле 3.8.1.

$$\Delta p = g \times (H - h) \times (\rho_n - \rho_v) + 0,5 \rho_n \times V^2 \times \zeta \quad (3.8.1)$$

Где:

$g$  – ускорение свободного падения,  $9,8 \text{ м/с}^2$ ;

$H$  – высота устья вытяжной шахты от уровня земли,  $3,82 \text{ м}$ ;

$h$  – высота от уровня земли до центра окна первого этажа,  $3,5 \text{ м}$ ;

$\rho_n$ ;  $\rho_v$  – плотности наружного и внутреннего воздуха соответственно, определяемые по формулам 3.8.2 и 3.8.3.

$$\rho_n = \frac{353}{273 + t_n} \quad (3.8.2)$$

$$\rho_v = \frac{353}{273 + t_v} \quad (3.8.3)$$

$t_n$ ;  $t_v$  – температуры наружного и внутреннего воздуха соответственно,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$V$  – скорость ветра,  $\text{м/с}$ ;

$c_n=0,8$ ;  $c_v=-0,5$  – аэродинамические коэффициенты для наветренной и заветренной поверхности здания соответственно, принимаемые по приложению Д.1 СП 20.13330.2016;

$K=0,92$  – коэффициент учета изменения динамического давления ветра по высоте, определяемый по степени открытости местности;

$P_0$  – условно постоянное давление внутри здания.

Количество теплоты, требуемой для нагрева воздуха, поступающего в помещение вследствие инфильтрации, определяем по формуле 3.8.4.

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \times c \times G \times (t_v - t_n) \times k \quad (3.8.4)$$

Где  $c=1010 \text{ Дж/кг}^{\circ}\text{C}$  – удельная теплоемкость воздуха;

$G$  – расход воздуха из-за инфильтрации;

$t_n$ ;  $t_v$  – температуры наружного и внутреннего воздуха соответственно,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$k$  – коэффициент, учитывающий влияние встречного теплового потока, зависящий от степени герметичности окон, принимаемый по СП 50.13330.2012.

На основании расчетов был построен график зависимости потребной энергии для нагрева воздуха в месяцах с отрицательной среднемесячной температурой за счет инфильтрационных теплопотерь, показанный на рисунке 3.8.1.

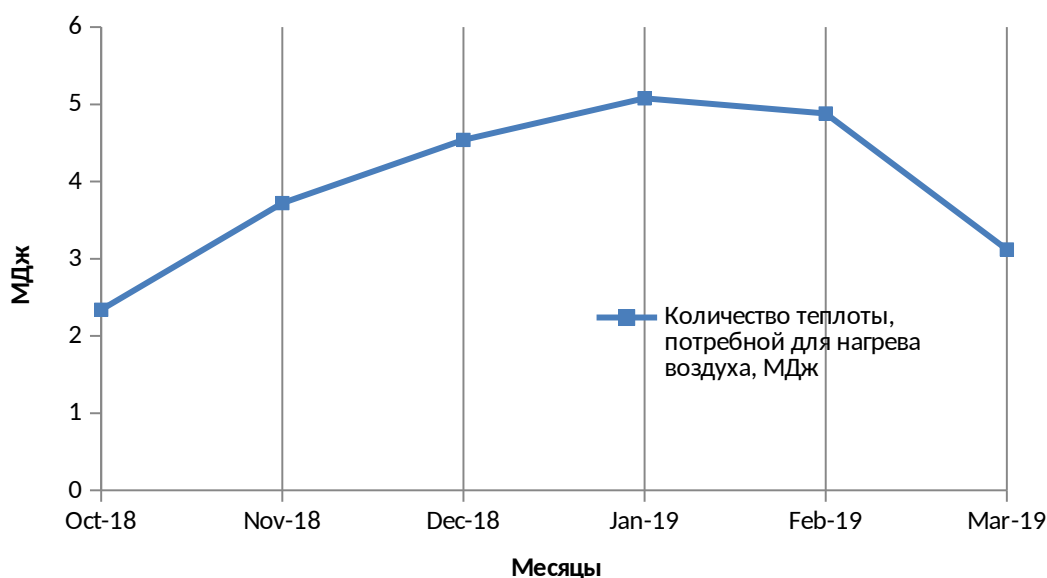


Рисунок 3.8.1 – Зависимость потребной энергии на нагрев воздуха по месяцам

Полученная диаграмма подтверждает теорию о том, что разница показателей температуры внешнего и наружного воздуха в значительной мере вызывает энергопотери, так как на основании мониторинга климатических показателей самыми холодными месяцами за период июнь 2018 – май 2019 были январь и февраль 2019 года.

### 3.9 Выводы по главе 3

Климатические характеристики, рельефные особенности открытой местности Республики Хакасия оказывают негативное влияние на тепловой баланс здания. Проанализировав данные термограмм, полученных с помощью тепловизора, были выявлены наиболее уязвимые участки ограждающих конструкций. Расчет на паропроницаемость показал, что условия

паропроницаемости выполняются, однако кривые распределения действительного и максимального парциального давления пересекаются, что свидетельствует о возможности выпадения конденсата в слое из шлакополистеролбетона. Расчет величины инфильтрации показал, что максимальное количество теплоты, требуемой для нагрева воздуха происходит в период январь-февраль.

## **Глава 4 Разработка программы эксперимента по строительству опытных домов для исследования и классификации дефектов теплопотерь**

### **4.1 Анализ данных тепловизионной съемки узлов сопряжений конструкций с данными программного комплекса Elcut**

В работе проанализирована общая характеристика исследуемого здания – лаборатории в с. Калинино. Проведена тепловизионная съемка наружных ограждений и обработка полученной тепловизионной информации. По полученным данным тепловизионного обследования, выявлены наиболее низкие и высокие значения температуры. После проведения тепловизионного обследования выявлены скрытые дефекты строительных конструкций, участки нарушения тепловой изоляции, фильтрации воздуха и увлажнения. Полученная информация о теплозащитных свойствах позволила оценить энергоэффективность здания.

Как показывают многочисленные мониторинги в России большинство зданий и сооружений имеют наружные ограждающие конструкции, не соответствующие современным нормативным требованиям по сопротивлению теплопередаче. Поэтому очень важным является проведение обследования фактического теплотехнического состояния здания, то есть фактического распределения температурных полей на поверхности наружных ограждающих конструкций зданий [73]. Температура поверхностей строительных конструкций зависит от теплофизических свойств их материалов, наличия теплопроводных включений, как предусмотренных конструктивно, являющихся конструктивными дефектами и др. Теплофизическое состояние можно определить с помощью термодатчиков, но для этого необходимо будет установить несколько сотен или тысяч термодатчиков (в зависимости от габаритов здания). Естественно, большая трудоемкость и высокая стоимость



такой работы затрудняет осуществление необходимого контроля теплофизических свойств.

Обследования тепловизионным методом могут выполняться на таких стадиях жизненного цикла здания как:

1. На стадии сдачи Государственной комиссии - все сдаваемые в эксплуатацию строительные объекты;
2. На стадии строительства в целях текущего контроля качества строительства;
3. На стадии эксплуатации - в случаях жалоб жильцов, составления энергетических паспортов зданий, при проведении мероприятий по повышению энергоэффективности и т. п.;
4. При капитальных ремонтах - «до» - для определения необходимых работ и «после» - для контроля качества работ.

Для более достоверной информации узлы сопряжения конструкций (Таблица 4.1.1 - 4.1.6) также проанализированны с помощью программного комплекса Elcut.

Расчетные характеристики материалов стеновой конструкции приведены в таблице А.1.

Заданы граничные условия второго рода:

1. Температуры внутреннего и окружающего воздуха:  $t_{в}=22^{\circ}\text{C}$  и  $t_{н}= - 37^{\circ}\text{C}$

2. Коэффициенты теплопередачи:

для внутреннего контура  $\alpha_{\text{стены}} = 8,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$

для наружного контура  $\alpha_{\text{стены}} = 23 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$

Таблица 4.1.1 – Результаты расчета конструкции цокольного узла

Температура наружного воздуха $t_n = -37^\circ\text{C}$		
Температура внутреннего воздуха $t_v = 22^\circ\text{C}$		
Конструкция узла		Термограмма
Теплотехнические характеристики материалов по направлению от наружного контура		
Наименование слоя	Толщина слоя, мм	Средняя температура поверхности, $^\circ\text{C}$
Облицовочный кирпич	120	-24,2
Ц-песчаный раствор по арматурной сетке	50	-29,4
Бетонная отмостка	80	-36
Пенополистерол	200÷300	-7,9
Шлакополистеролбетон	200	-8,8
Керамзитобетонная панель (3-х слойная)	300	16
Монолитный железобетон	350	9,4

По результатам расчета в программном комплексе Elcut при более низких, нормативных температурах наружного воздуха в соответствии с [34], можно сделать вывод, что трансмиссионные теплотери происходят через конструкцию железобетонной подливки, а затем оголовок сваи, выходящий из обвязочной балки, что подтверждается и данными с тепловизора (Рисунок 3.4.9).

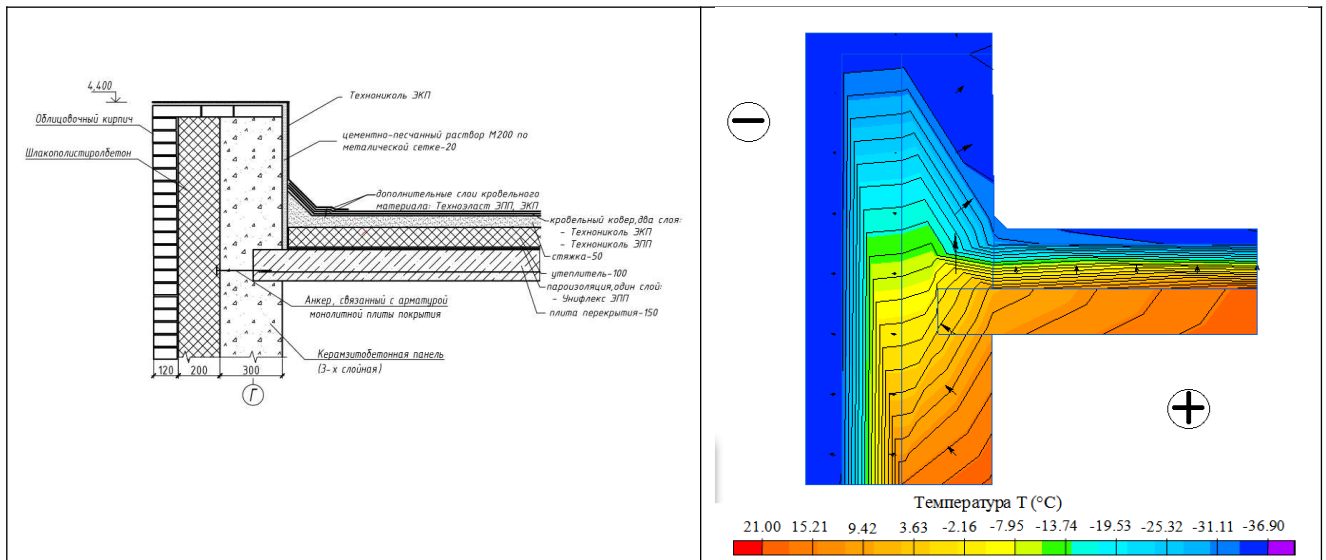
Таблица 4.1.2 – Результаты расчета многослойной конструкции стены

Температура наружного воздуха $t_n = -37^\circ\text{C}$		
Температура внутреннего воздуха $t_v = 22^\circ\text{C}$		
Конструкция узла		Термограмма
Теплотехнические характеристики материалов по направлению от наружного контура		
Наименование слоя	Толщина слоя, мм	Средняя температура поверхности, $^\circ\text{C}$
Облицовочный кирпич	120	-36
Шлакополистеролбетон	200	-18,9
Керамзитобетонная панель (3-х слойная)	300	8,4

По результатам расчета в программном комплексе Elcut при более низких, нормативных температурах наружного воздуха в соответствии с [34], можно сделать вывод, что трансмиссионные теплотери происходят через многослойную конструкцию стены, однако согласно теплотехническому расчету, толщины утеплителя достаточно, что подтверждается и данными с тепловизора (Рисунок 3.4.13 ).

Таблица 4.1.3 – Результаты расчета конструкции парапетного узла

Температура наружного воздуха $t_n = -37^\circ\text{C}$	
Температура внутреннего воздуха $t_v = 22^\circ\text{C}$	
Конструкция узла	Термограмма



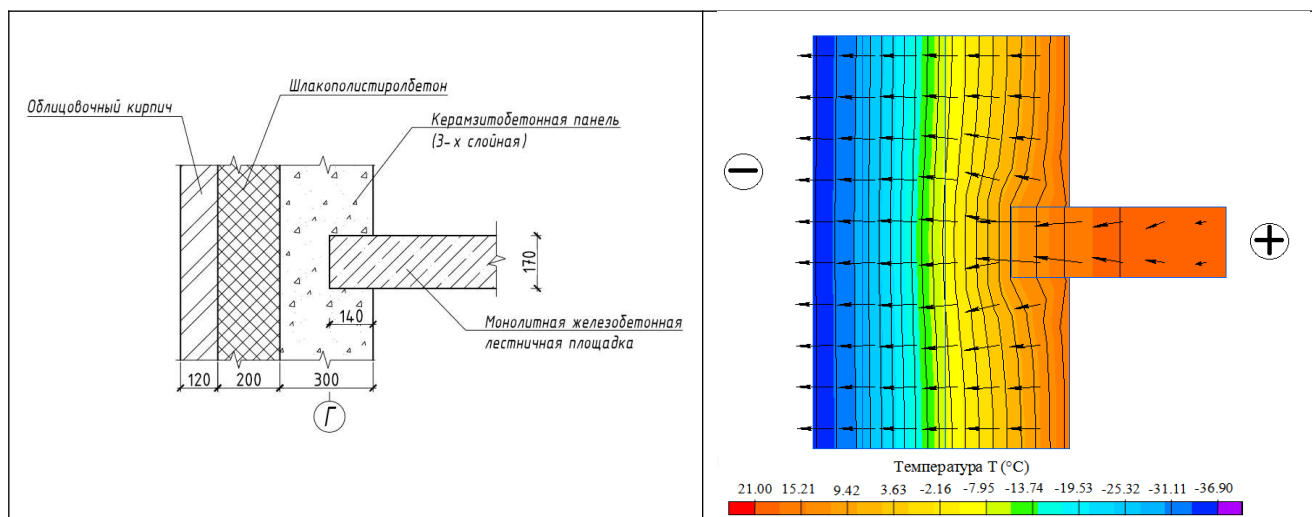
Теплотехнические характеристики материалов по направлению от наружного контура

Наименование слоя	Толщина слоя, мм	Средняя температура поверхности, °С
Облицовочный кирпич	120	-32,2
Ц-песчаный раствор по металлической сетке	20	-36,1
Технониколь ЭКП	8	-36,0
Ц-песчаная стяжка	50	-25,4
Шлакобетон	100	-12,8
Шлакополистеролбетон	200	-13,7
Монолитная ж/б плита покрытия	150	4,6
Керамзитобетонная панель (3-х слойная)	300	10,4

По результатам расчета в программном комплексе Elcut при более низких, нормативных температурах наружного воздуха в соответствии с [34], можно сделать вывод, что трансмиссионные теплотери происходят через конструкцию монолитной железобетонной плиты покрытия, а затем в штробу в керамзитобетонной панели, следом в шлакополистеролбетон. Однако в парапетной части отмечаются интенсивные солевые выносы, что свидетельствует о эксфильтрационных потоках, что было зафиксировано на термограммах (Рисунок 3.4.13).

Таблица 4.1.4 – Результаты расчета конструкции сопряжения монолитной железобетонной лестничной площадки с многослойной конструкцией стены

Температура наружного воздуха $t_n = -37^\circ\text{C}$	
Температура внутреннего воздуха $t_b = 22^\circ\text{C}$	
Конструкция узла	Термограмма



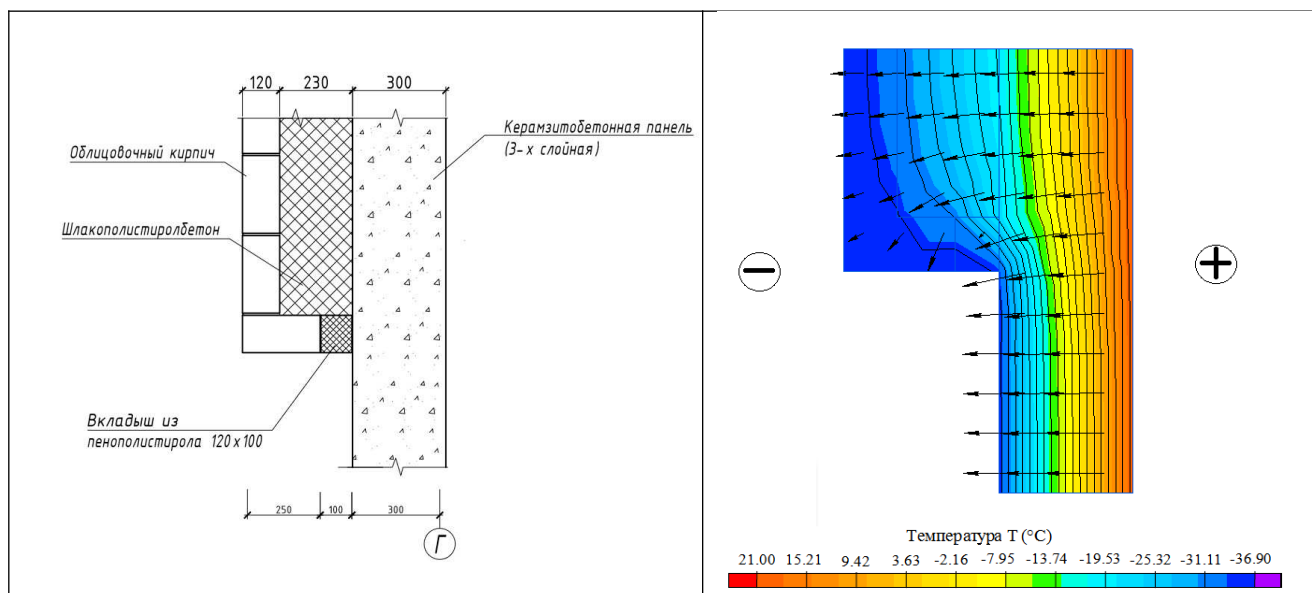
Теплотехнические характеристики материалов по направлению от наружного контура

Наименование слоя	Толщина слоя, мм	Средняя температура поверхности, °С
Облицовочный кирпич	120	-30,2
Шлакополистиролбетон	200	-16,4
Керамзитобетонная панель (3-х слойная)	300	10,2
Монолитная железобетонная лестничная площадка	170	15,2

По результатам расчета в программном комплексе Elcut при более низких, нормативных температурах наружного воздуха в соответствии с [34], можно сделать вывод, что трансмиссионные теплотери происходят через конструкцию монолитной железобетонной лестничной площадки, а затем в штробу в керамзитобетонной панели, следом в шлакополистиролбетон. Интенсивные солевые выносы были обнаружены именно в месте, где располагается лестничная клетка. Термограмма представлена на рисунке 3.4.11.

Таблица 4.1.5 – Результаты расчета конструкции невыполненного оконного проема

Температура наружного воздуха $t_n = -37^\circ\text{C}$	
Температура внутреннего воздуха $t_b = 22^\circ\text{C}$	
Конструкция узла	Термограмма



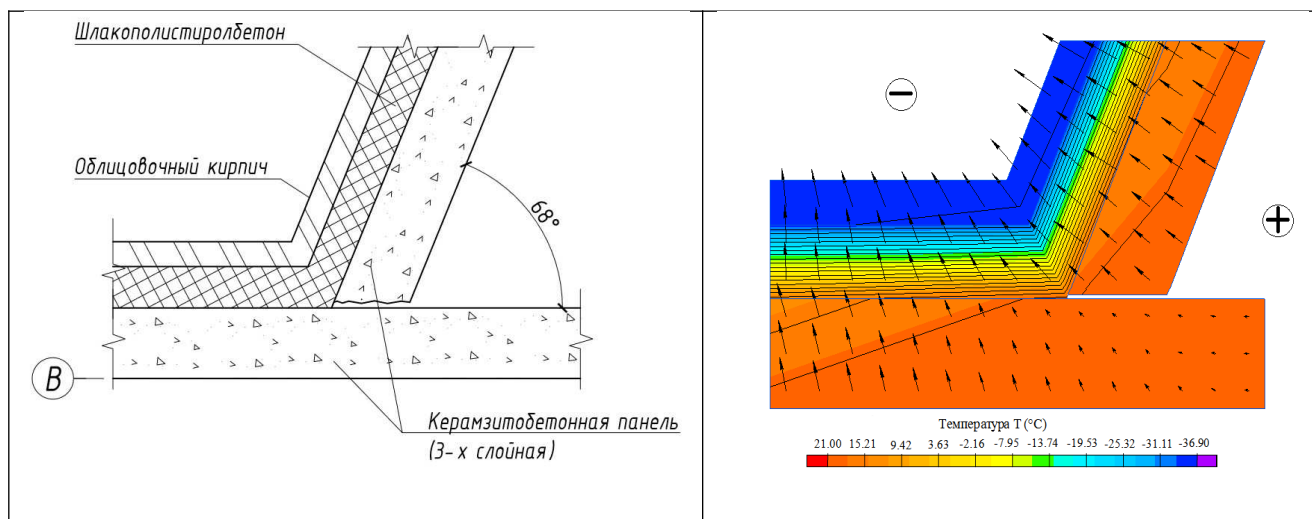
Теплотехнические характеристики материалов по направлению от наружного контура

Наименование слоя	Толщина слоя, мм	Средняя температура поверхности, °С
Облицовочный кирпич	120	-34,2
Пенополистерол	100	-31,9
Шлакополистеролбетон	200	-21,8
Керамзитобетонная панель (3-х слойная)	300	-2,8

По результатам расчета в программном комплексе Elcut при более низких, нормативных температурах наружного воздуха в соответствии с [34], можно сделать вывод, что трансмиссионные теплотери происходят через многослойную конструкцию невыполненного окна. Термограмма, представленная на рисунках 3.4.4, 3.4.12, 3.4.12 свидетельствует о том, что в месте невыполненного окна имеется инфильтрационный поток через место прилегания пенополистерола с одной стороны с кирпичом, с другой стороны с керамзитобетонной панелью.

Таблица 4.1.6 – Результаты расчета конструкции невыполненного оконного проема

Температура наружного воздуха $t_n = -37^\circ\text{C}$	
Температура внутреннего воздуха $t_b = 22^\circ\text{C}$	
Конструкция узла	Термограмма



Теплотехнические характеристики материалов по направлению от наружного контура

Наименование слоя	Толщина слоя, мм	Средняя температура поверхности, °С
Облицовочный кирпич	120	-34,2
Шлакополистиролбетон	200	-12,8
Керамзитобетонная панель (3-х слойная)	300	18,8

По результатам расчета в программном комплексе Elcut при более низких, нормативных температурах наружного воздуха в соответствии с [34], можно сделать вывод, что трансмиссионные теплопотери происходят через конструкцию керамзитобетонной панели. Существенный минус программного комплекса, обнаруженный при анализе данных, показал что щель в месте примыкания обрубленной керамзитобетонной панели не учитывается. Термограмма представлена на рисунке 3.4.10.

## 4.2 Разработка программы эксперимента

Разработка программы эксперимента была начата в работе Адьякова Н.А [75] по вариантной разработке проекта малоэтажного здания с применением технологии обжатие-релаксация монолитного пенобетона. В работе было приведено 4 варианта конструкций наружных стен с целью выяснения наиболее

энергоэффективного, а также более экономичного варианта. Так же в ходе строительства планировалось установить термодатчики в конструкции наружных стен для сравнения полученных данных в натуральных условиях с данными, полученными в программном комплексе Elcut.

Планирование эксперимента необходимо производить в наиболее короткий срок и с наименьшими затратами, получая при этом достоверную и точную информацию. Этого можно достигнуть при планировании определенных правил, которые учитывают вероятностный характер результатов измерений и наличие внешних помех, которые могут воздействовать на изучаемый объект.

Программа эксперимента включает следующие этапы:

- 1 Проведение предварительного целенаправленного наблюдения за объектами малоэтажного строительства, к которым относятся частные жилые дома пригорода Абакана с целью определения дефектов теплопотерь, а также их классификации;
- 2 В качестве объекта исследований выбрано здание лаборатории в с. Калинино;
- 3 Тепловизионный мониторинг за объектом следует производить с октября по март, т.е. в период установления стабильных отрицательных температур;
- 4 Выполнить пофрагментную детализацию участков стены с высолами для их типологии;



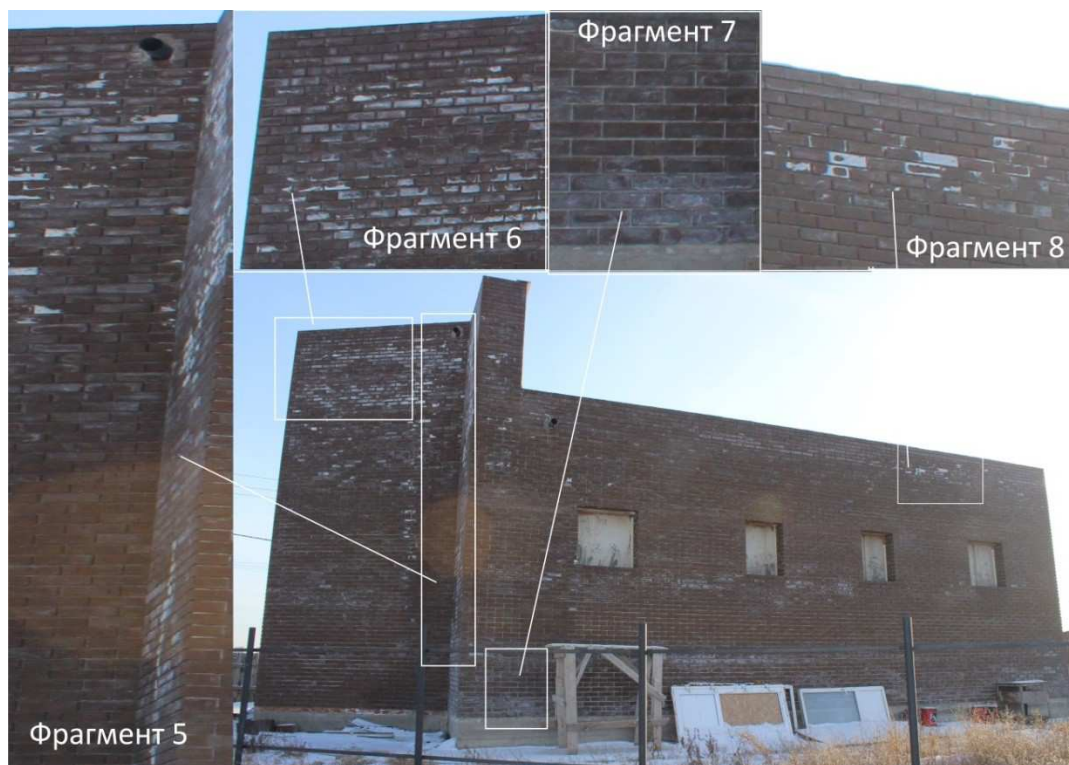
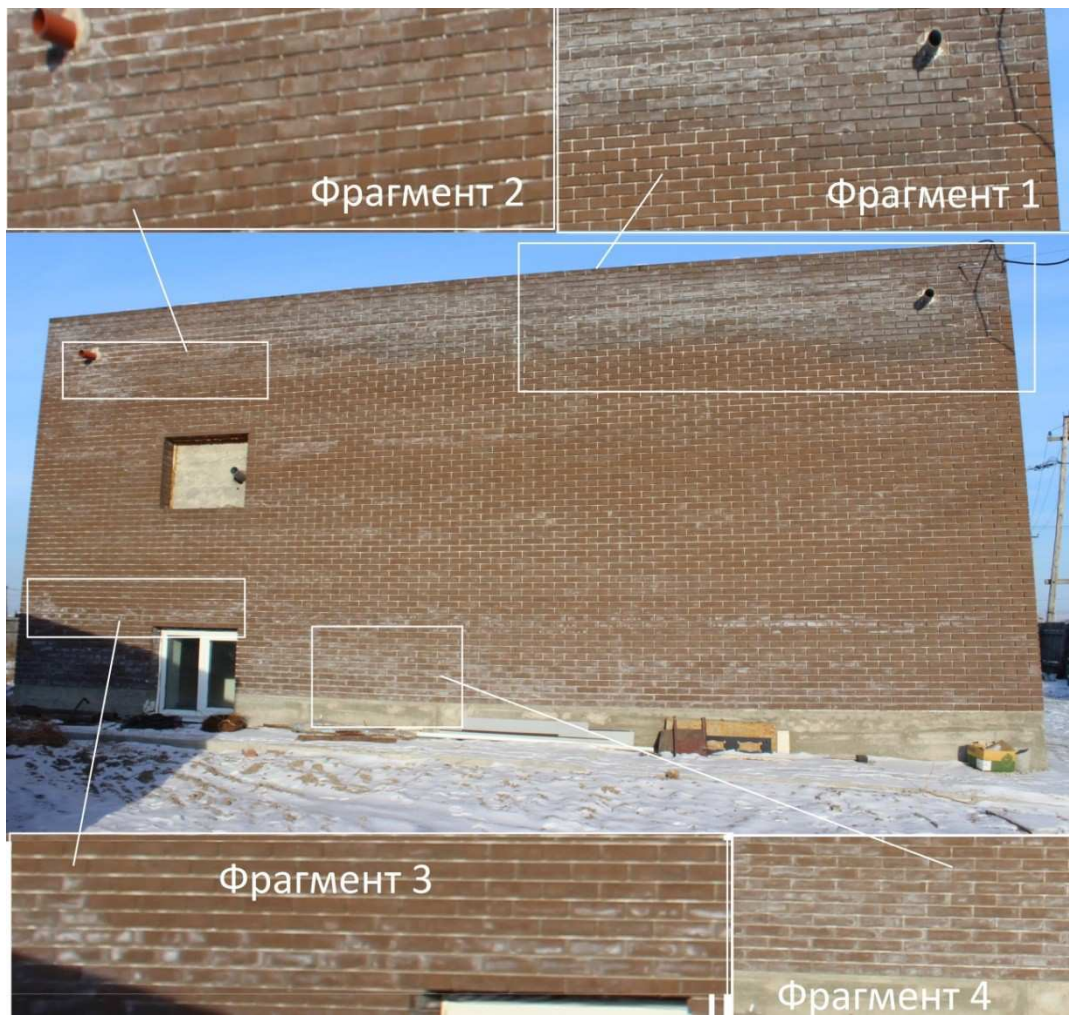


Рисунок 4.2.1 – Пофрагментная детализация участков стены с высолами

5 Систематическое наблюдение за динамикой распространения высолов, вести фотоотчет;

6 Выступившую соль взять для определения химического состава;

7 Для определения размеров микропор материалов следует изъять кирпич из кладки вместе с раствором (Рисунок 4.2.2);



Рисунок 4.2.2 – Изъятие кирпича из массива стены для определения размеров микропор

8 Вырезать кубик из шлакополистеролбетона для определения его прочностных характеристик.

9 В марте 2020 года взять пробу шлакополистеролбетона для определения влажности, а так же ее сравнения в зависимости от глубины расположения в конструкции стены с данными положения максимальной зоны увлажнения (точки росы);

10 При помощи аэродвери замерить величину воздуха поступающего через неплотности ограждающих конструкций в натуральных условиях и сравнить с полученными результатами инфильтрируемого воздуха в ходе теоретического расчета;

11 Установить аэраторы в лестничной клетке для сравнения параметров микроклимата, а также влажность и свойства утеплителя из шлакополистеролбетона до и после их установки;

12 Разработать методики и способы оптимизации процессов инфильтрации и эксфильтрации воздуха через наружные ограждающие конструкции с целью экономии тепловых потерь здания как для строящихся, так и для реконструируемых зданий.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа мониторинга и теоретических исследований установлены основные местоположения дефектов ограждающих конструкций, приводящие к возникновению фильтрационных потоков. Получены фактические показатели, характеризующие тепловую защиту эксплуатируемых объектов малоэтажного строительства пригорода Абакана (Республика Хакасия), которые послужили основой для продолжения дальнейших исследований.

Тепловизионное обследование здания лаборатории показали, что утилизация тепла происходит не только в местах, содержащих дополнительные теплопроводные включения, но и в местах повышенной концентрации солевых выносов на поверхности облицовочной версты кирпича. Установлено, что усиление концентрации высолов на поверхности здания лаборатории в зимнее время это результат взаимодействия инфильтрационных и эксфильтрационных потоков. Выявлено, что высолы на поверхности облицовочного кирпича являются важным индикатором дополнительных теплопотерь.

Дана классификация дефектов теплопотерь, сформирован спектр и их ранжирование с учетом их влияния на процессы тепломассопереноса.

Проанализированы воздействия климатических условий Республики Хакасия на температурно-влажностные характеристики и воздухопроницаемость наружных ограждений, выявлена зависимость повышения процесса инфильтрации в январе и феврале, как самых холодных месяцев в исследуемый период. Впервые было установлено, что величина инфильтрации в условиях резко-континентального климата, к которому относится Республика Хакасия, составляет более 30% от общей величины теплопотерь.

Полученные материалы исследований могут быть использованы для рационального проектирования тепловой защиты новых зданий, но и для

реконструкции старых, а также разработки пооперационного контроля качества выполнения на этапе строительства.

Динамика распространения высолов на кирпичной кладке явилась следствием эксфильтрационных потоков, которые приводят к дополнительным теплотерям. Исследования показали, что борьба с косметической проблемой на фасадах с облицовкой из кирпича не является основополагающей. Особое внимание стоит уделить проблеме «изнутри» для снижения не только миграции солей, но и повышения энергоэффективности многослойных конструкций.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Федеральный Закон от 23 ноября 2009г. №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // Российская газета, 2009г., 27 ноября.
- 2 Долгосрочная республиканская целевая программа «Энергосбережение и повышение энергоэффективности в Республике Хакасия на 2013 -2015 годы и на перспективу до 2020 года», и о признании утратившими силу некоторых Постановлений Правительства Республики Хакасия (с изменениями на 8 июня 2018 года), утвержденная постановлением Правительства Республики Хакасия от 11.12.2012 № 858.
- 3 Котин В.Я., Каким быть СНиПу по тепловой защите зданий. Развитие и совершенствование норм тепловой защиты зданий / В.Я. Котин // Жилищное строительство. – 2012. - № 3. – С. 5-8.
- 4 Гагарин, В. Г., О нормировании теплотерь через оболочку здания / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // Строительные науки. Строительная теплофизика и энергосбережение. - 2010. - № 3. - С. 279–286.
- 5 Матросов, Ю.А., Энергоэффективность и экология – основа современных требований к теплозащите зданий / Ю.А. Матросов// Строительные науки. - 2009. - № 5. - С. 283-290
- 6 Липко В.И., Теоретические основы моделирования тепломассообменных процессов при инфильтрации наружного воздуха через вентилируемые оконные стеклопакеты /В.И. Липко, Е.С. Добросольцева, Е.К. Синюкович // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. - 2015, № 7. С. 97-101.
- 7 Смирнова, Ю.О. Техническая экспертиза конструкций здания на примере жилого дома по ул. Суворова, д. 184 / Ю.О. Смирнова., С.С. Корнеева // Аллея науки. – 2017. - № 8. – С. 394-400.

- 8** Губина, И.А., Энергосбережение в зданиях при утилизации тепла вытяжного воздуха / И.А. Губина, А.С. Горшков // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. - № 4 (31). – С. 209-219.
- 9** Мальцев, А.В., Энергосбережение в многоэтажных жилых зданиях при инфильтрации воздуха через наружную стену / А.В. Мальцев, Д.С. Сорокин // Технические науки. – 2015. - № 3-4 (37-38). – С. 87-90.
- 10** Береговой, А.М. Эффект энергосбережения в помещении с естественной вентиляцией в условиях инфильтрации воздуха через наружную стену / А.М. Береговой, А.В. Мальцев, М.А. Дерина, А.В. Гречишкин // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 140-144.
- 11** Веснин, В.И., Инфильтрация воздуха и тепловые потери помещений через оконные проемы / В.И. Веснин // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2016. № 3 (24). – С. 10-16.
- 12** Гордеева, Т.Е. Улучшение тепловлажностного режима жилого помещения / Т.Е. Гордеева, Д.В. Зеленцов // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. - 2013. № 2 (10). - С. 94–96.
- 13** А. Каддоур, С.М.А. Беккоуч Изучение параметров естественной вентиляции на зданиях. Температура внутреннего воздуха / А. Каддоур, С.М.А. Беккоуч // Индийский журнал науки и технологии. - 2017. - № 10(12). – С. 1-5.
- 14** Береговой, А.М. Оценка тепловых потерь при эксфильтрации воздуха через пористую структуру материала ограждения / А.М. Береговой, М.А. Дерина, В.А. Береговой, А.В. Мальцев // Региональная архитектура и строительство. - 2014. – №2. – С. 79-83.
- 15** Дерина, М.А. Повышение тепловой эффективности малоэтажных гражданских зданий: дис. канд.техн. наук: 03.10.16 / Дерина Мария Александровна. – Пенза, 2016. – С. 172 с.
- 16** Шарипов, А.Я. Энергосбережение в программе «Доступное жилье» / А.Я. Шарипов // Энергосбережение. – 2008. – №5. – С. 20–25.
- 17** Петросова, Д.В. Фильтрация воздуха через ограждающие конструкции / Д.В. Петросова // Инженерно-строительный журнал. – 2012. - № 2. С. 24-31.

- 18** Табунщиков, Ю.А. Энергоэффективные здания и инновационные инженерные системы / Ю.А. Табунщиков // Вентиляция. Отопление. Кондиционирование: АВОК. – 2014. – №1. – С. 6–13.
- 19** Беляев, Б.С. Инженерный метод расчета стыков наружных ограждений панельных зданий с учетом фильтрации воздуха / Б.С. Беляев // Жилищное строительство. – 2014. - № 12. – С. 41-45.
- 20** Беляев, Б.С. Методики теплотехнических расчетов наружных ограждений с рекуперацией трансмиссионного и вентиляционного теплового потока / Б.С. Беляев // Жилищное строительство. – 2014. - № 1-2. – С. 21-26.
- 21** Дацюк, Т.А. Инженерные аспекты энергосбережения зданий / Т.А. Дацюк // Academia. Архитектура и строительство. Строительные науки. – 2009. - № 5. – С. 326-328.
- 22** Табунщиков, Ю.А. Пути повышения энергоэффективности эксплуатируемых зданий / Ю.А. Табунщиков, В.И. Ливчак, В.Г. Гагарин, Н.В. Шилкин // Вентиляция. Отопление. Кондиционирование: АВОК. – 2009. – №5. – С.17–25.
- 23** Табунщиков, Ю.А. Методы и результаты оценки эффективности энергосберегающих решений / Ю.А. Табунщиков, Н.В. Шилкин, Ю.В. Миллер // Вентиляция. Отопление. Кондиционирование: АВОК. – 2013. – №7. – С.38–49.
- 24** Окунев А.Ю., Исследование теплопереноса в основании здания с неотапливаемом подвалом /А.Ю. Окунев, Е.В. Левин, Шагинян К.С. // Строительство и реконструкция. – 2017. - № 3(71). – С. 75-81.
- 25** Мальцев А.В., Энергосберегающие ограждающие конструкции с использованием местных материалов при варьируемых параметрах тепломассопереноса: дис. канд.техн. наук: 05.23.01 / Мальцев Алексей Викторович. – Пенза, 2014. – С. 169 с.
- 26** СП 50.13330.2012. Свод правил. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: Минрегион России, 2012. 96 с.



**27** Ватин, Н.И. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании / Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С. // Инженерно-строительный журнал. - №8. 2012. С. 4-14.

**28** СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий

**29** Стерман, Л.С. Тепловые и атомные электрические станции : учеб. для вузов / Л. С. Стерман, В. М. Лавыгин, С. Г. Тишин. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Изд. дом МЭИ, 2008. - 463 с.

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

**31** Горшков, А.С. Принципы энергосбережения в зданиях / А.С. Горшков // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. - №7. С. 26-34.

**32** Горшков А.С. Инженерные системы. Руководство по проектированию, строительству и реконструкции зданий с низким потреблением энергии: учеб. пособие / А.С. Горшков. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. 160 с.

**33** Шилкин Н.В. «Пассивные» здания: возможности современного строительства / Н.В. Шилкин // Энергосбережение. 2011. №4. С. 34-40.

**34** СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»

**35** Caesar Abi Shdid, Chadi Younes Validating a new model for rapid multi-dimensional combined heat and air infiltration building energy simulation Energy and Buildings. -2015. Vol. 87. № 1. P. 185-198.

**36** Dayi Lai, Panagiota Karava, Qingyan Chen. Study of outdoor ozone penetration into buildings through ventilation and infiltration Building and Environment. – 2015. Vol. 93. Part 2. P. 112-118.

**37** Pok Lun Cheng, Xiaofeng Li, Air infiltration rates in the bedrooms of 202 residences and estimated parametric infiltration rate distribution in Guangzhou, China Energy and Buildings. – 2018. Vol. 164. P. 219-225.

- 38** Liu Wei, Zhao Xingwang, A novel method for measuring air infiltration rate in buildings Energy and Buildings. – 2018. Vol. 168. P. 309-318.
- 39** Веснин, В.И., Инфильтрация воздуха и тепловые потери помещений через оконные проемы / В.И. Веснин // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2016. № 3 (24). – С. 10-16.
- 40** Халимов О.З., К вопросу о типологии дефектов теплопотерь через ограждающие конструкции индивидуальных зданий / О.З. Халимов, Н.М. Халимова // Строительство и реконструкция. – 2017. - № 3(71). – С. 94-100.
- 41** Инчик, В.В. Высолы и солевая коррозия кирпичных стен: дис. докт.техн. наук: 1:02-5/138-7 / Инчик Всеволод Владимирович. – Санкт Петербург, 2000. – С. 48.
- 42** Бессонов И.В., Причины появления и способы устранения высолов на кирпичных стенах зданий / И.В. Бессонов, В.В. Баранов // Жилищное строительство. – 2014. № 7. – С. 39-43
- 43** Пат. 2198858 Российская Федерация, МПК С04 В 33/08, 33/04 Способ подавления высолов из керамических изделий. / Махлай В.Н. Афанасьев С.В. Гильбух А.Я. и др. заявитель и патентообладатель ЗАО «Корпорация Тольяттиазот» - К 2001102172 / 03; заявл. 25.01.2001; опубл. 20.02.2003, Режим доступа: <http://bd.patent.su/2198000-2198999/pat/servlet/servlet84f.html> Дата обращения 17.06.2019
- 44** Ваккасов, Х.С. Высолы на кирпичной кладке: причины их образования и методы устранения / Х.С. Ваккасов, Эшонжонов Ж.Б. // Вестник науки и творчества. – 2017. № 2(14). С. 21-24
- 45** Кононова, О.В. Причины появления высолов на кирпичной кладке и способы их устранения / О.В. Кононова, М.В. Жукова // Новая наука: Проблемы и перспективы. – 2016. № 8(97). С. 144-146.
- 46** Яковлев, Г.И. Влияние дисперсий многослойных углеродных нанотрубок на физикомеханические характеристики и структуру строительной керамики / Ю.Н. Гинчицкая, О. Кизиниевич, В. Кизиниевич, А.Ф. Гордина // Строительные материалы. - 2016. № 8. С. 25-29.

- 47 Яковлев, Г.И. Солевая коррозия керамического кирпича / Г.И. Яковлев, А. Гайлюс // Стекло и керамика. - 2005. № 10. С. 20 – 22.
- 48 Mačiulaitis, R. Investigation of the possibilities to modify the building ceramics by utilizing MWCNTs / J.R. Kerienė, G. Yakovlev, O. Kizinievič, J. Malaiškienė, V. Kizinievič // Construction and building materials. - 2014. №73. P. 153-162.
- 49 Тайбахтина, П.А. Исследование образования высолов с подбором противоморозной добавки для кладочного раствора / П.А. Тайбахтина, Г.И. Яковлев // Выставка инноваций - 2017 (осенняя сессия) Сборник материалов XXIV Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов. 2017. - С. 79-82.
- 50 Пат. 2313407 Российская Федерация, МПК В08В3/02, Способ очистки фасадов и внутренних помещений зданий и других сооружений из строительных материалов от различных загрязнений и высолов / Шпиньков В.В., Синельщикова М.А., Шпиньков В.А., Синельщиков А.К. заявитель и патентообладатель ЗАО "ЦТПМ" - К 2006118171 / 12.; заявл. 29.05.2006; опубл. 27.12.2007, Режим доступа: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2313407C1\\_20071227](https://yandex.ru/patents/doc/RU2313407C1_20071227)  
Дата обращения 18.06.2019
- 51 Денисова, Ю.В. Высолы на кирпичной кладке: причины их образования и методы устранения / Ю.В. Денисова // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2011. № 12(155). С. 38-39.
- 52 Войтович, В.А. Пособие по гидрофобизации строительных конструкций и изделий: учеб.-метод. пособие / В.А. Войтович, И.Н. Хряпченкова; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т;– Н. Новгород: ННГАСУ, 2016. – 45 с.
- 53 СП 345.1325800.2017 Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты
- 54 Ватин, Н.И. Энергоэффективность ограждающих конструкций при капитальном ремонте / Н.И. Ватин, А.С. Горшков, Д.В. Немова // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. - № 3(8). С. 1-11.


- 55 Куприянов, В.Н. Проектирование ограждающих конструкций с учетом диффузии и конденсации парообразной влаги / В.Н. Куприянов, И.Ш. Сафин // Известия КазГАСУ. 2011. - № 1(15). С. 93-103.
- 56 Куприянов, В.Н. Паропроницаемость материалов в условиях, приближенных к эксплуатационным / В.Н. Куприянов, А.С. Петров // Известия КГАСУ. 2013. - № 2(24). С.126-131.
- 57 Перехоженцев, А.Г. Теоретические основы и методы расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций зданий. Волгоград: ВолгГАСУ. - 2008. 212 с.
- 58 Straube J.F. Moisture in Buildings. //ASHRAE Journal. 2002. - Pp.1-6.
- 59 .Куприянов, В.Н. Паропроницаемость и проектирование ограждающих конструкций / В.Н. Куприянов, И.Ш. Сафин // РААСН АСADEMIA. Строительство и архитектура. 2010. - № 3. С. 385-390.
- 60 Емельянов Г. Применение паропроницаемой теплоизоляции в строительстве //Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2013. - № 7. С. 31-33.
- 61 Самарин О.Д. Энергетический баланс гражданских зданий и возможные направления энергосбережения // Жилищное строительство. 2012. - № 8. С. 2–5.
- 62 Самарин О.Д., Васин П.С. Оценка энергоэффективности зданий и сравнительная эффективность энергосберегающих мероприятий // Сб. докл. 9-й конф. РНТОС, 2004. - С. 56–60.
- 63 Biao Wang, Jinghua Yu, Hong Ye, Yunxi Liu, Hui Guo, Liwei Tian. Study on present situation and optimization strategy of infiltration air in a train station in winter // Procedia Engineering. 2017. - Vol. 205. Pp. 2517–2523.
- 64 Рымаров, А.Г. Особенности определения требуемого воздухообмена в помещениях жилых зданий / А.Г. Рымаров, В.В. Савичев // Жилищное строительство. 2014. - № 12. С. 23–25.
- 65 Brinks P. Air infiltration assessment for industrial buildings / Kornadt O., Oly R. // Energy and Buildings. 2015. - Vol. 86. Pp. 663–676.

- 66** Xionglei Cheng, Hao Zhang, Wuxuan Pan, Sumei Liu, Mingrui Zhang, Zhengwei Long, Tengfei Zhang, Qingyan Che. Field study of infiltration rate and its influence on indoor air quality in an apartment // *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 205. Pp. 3954–3961.
- 67** Кубенин А.С. Исследование влияние направления ветра на процессы инфильтрации воздуха через окна здания // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Т. 7. № 4. Ст. 77. Режим доступа: <https://naukovedenie.ru/PDF/03TVN515.pdf> Дата обращения 22.06.2019.
- 68** Кубенин А.С. Методика определения максимальных расходов теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха через окна здания за весь отопительный период // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Т. 7. № 5. Ст. 134. Режим доступа: <https://naukovedenie.ru/PDF/03TVN515.pdf>. Дата обращения 22.06.2019.
- 69** Гагарин В.Г., К методике расчета влияния ветровых воздействий на воздушный режим зданий / В.Г. Гагарин, С.В. Гувернюк, А.С. Кубенин, П.П. Пастушков, В.В. Козлов // *Технология текстильной промышленности*. – 2016. № 4(364). С. 234-239.
- 70** Грибач, Ю.С. Сравнительный анализ результатов расчета инфильтрационных потерь на примере жилого здания в г. Москве / Ю.С. Грибач, Д.С. Грибач, О.И. Поддаева // *Силовое и энергетическое оборудование. Автономные системы*. 2018. - № 2. С. 63-72.
- 71** Липко В.И., Теоретические основы моделирования тепломассообменных процессов при инфильтрации наружного воздуха через вентилируемые оконные стеклопакеты /Е.С. Добросольцева, Е.К. Синюкович // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. – 2015. № 7. С. 97-101.
- 72** Мальцев А.В., Энергосбережение в многоэтажных жилых зданиях при инфильтрации воздуха через наружную стену /А.В. Мальцев, Д.С. Сорокин // *Новый университет. Серия: технические науки*. -2015. №3-4. С. 87-90.

- 73 Невирец, Т.Н. Оценка теплотерь и мероприятия по их снижению для учебного корпуса № 5 МИ ВлГУ / Т.Н. Невирец, Л.П. Соловьев // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2017. № 1(31). С. 53-58.
- 74 Адьяков, Н.А. Вариантная разработка проекта малоэтажного здания с применением технологии обжатиe-релаксация монолитного пенобетона: диссертация / Адьяков Николай Александрович. – 2018. – 76 с.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Хакасский технический институт – филиал СФУ  
институт

Строительство  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
 Г.Н. Шибеева  
подпись инициалы, фамилия  
«22» 06 2019 г.

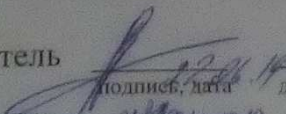
**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Разработка программы эксперимента по строительству опытных домов для  
исследования и классификации дефектов теплопотерь  
тема

08.04.01 Строительство  
код и наименование направления

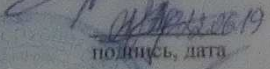
08.04.01.03 «Теория и проектирование зданий и сооружений»  
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель

  
подпись, дата К.Т.Н., доцент  
должность, ученая степень


О.З. Халимов  
инициалы, фамилия

Выпускник

  
подпись, дата


О.А. Адьяикова  
инициалы, фамилия

Рецензент

  
подпись, дата Инженер-проектировщик  
ООО «Экспертиза Недвижимости» А.В. Житенев  
должность, ученая степень

А.В. Житенев  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

  
подпись, дата К.Т.Н., доцент  
должность, ученая степень

Г.Н. Шибеева  
инициалы, фамилия

Абакан 2019

**ОТЗЫВ  
НА МАГИСТЕРУЮ ДИССЕРТАЦИЮ**

*Адыяковой Оксаны Андреевны  
Хакасского технического института – филиала СФУ  
Кафедра «Строительство»*

Выполненная магистерская диссертация Адыяковой Оксаны Андреевны на тему: «Разработка программы эксперимента по строительству опытных домов для исследования и классификации дефектов теплопотерь» является актуальной работой, в которой решаются вопросы исследования, классификации дефектов теплопотерь.

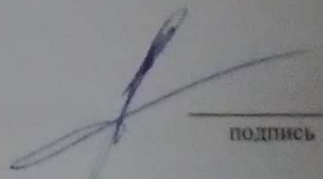
Магистранка провела первичные исследования по программе исследования по программе эксперимента для разработки и классификации дефектов теплопотерь.

Для новых, дальнейших исследований в этом направлении предложены новые направления исследований для здания слабых мест наружной оболочки здания и недопущения дефектов на всех этапах жизненного цикла: изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации.

За время обучения в магистратуре по направлению по направлению 08.04.01. «Строительство» магистерской программы «Теория и проектирование зданий и сооружений», магистрантка показала себя организованной, подготовленной к проведению серьезных научных исследований.

Магистрантка Адыякова О.А. заслуживает присвоения звания магистра по направлению 08.04.01. «Строительство» магистерской программы «Теория и проектирование зданий и сооружений», а работа по теме «Разработка программы эксперимента по строительству опытных домов для исследования и классификации дефектов теплопотерь» - оценки «Отлично»

К.т.н., доцент  
Кафедры «Строительство»  
ХТИ – филиала СФУ

  
подпись

О.З. Халимов  
инициалы, фамилия



**РЕЦЕНЗИЯ  
НА МАГИСТЕРУЮ ДИССЕРТАЦИЮ**

*Адыяковой Оксаны Андреевны  
Хакасского технического института – филиала СФУ  
Кафедра «Строительство»*

*Выполнена магистерская диссертация на тему: «Разработка программы  
эксперимента по строительству опытных домов для исследования и  
классификации дефектов теплопотерь»*

Диссертация Адыяковой Оксаны Андреевны выполнена последовательно и обстоятельно. Композиционная структура диссертации соответствует логике решения задач, которые определены во введении.

Магистранка показала себя грамотной, подготовленной к проведению серьезных научных исследований, о чем свидетельствует данная магистерская диссертация.

Магистерская работа является актуальной, что подтверждает востребованностью новых научных исследований в данной области.

Сформированы цель, задачи на основе анализа современного состояния исследований в вопросе повышения энергоэффективности ограждающих конструкций, преимущественно многослойных. Проанализированы дефекты ограждающих конструкций здания, являющегося объектом исследований. В исследовательской работе применены программные комплексы Elcut 6.3, сделан расчет на паропроницаемость, точку росы, инфильтрации.

Об этом свидетельствуют сформированные научная новизна и практическая значимость магистерской диссертации.

Замечания: вывод по главе 3 сделать более подробным.

Магистрантка Адыякова О.А. заслуживает присвоения звания магистра по направлению 08.04.01. «Строительство» магистерской программы «Теория и проектирование зданий и сооружений», а работа по теме «Разработка программы эксперимента по строительству опытных домов для исследования и классификации дефектов теплопотерь» - оценки «Отлично»

Инженер-проектировщик  
ООО «Экспертиза Недвижимости»



А.В. Житенев  
инициалы, фамилия

2019 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЗАВЕДУЮЩЕГО КАФЕДРОЙ  
О ДОПУСКЕ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ К ЗАЩИТЕ

Вуз (точное название) Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО  
«Сибирский федеральный университет»  
Кафедра Строительство

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Заведующего кафедрой Строительство  
(наименование кафедры)

Шибяевой Галины Николаевны  
(фамилия, имя, отчество заведующего кафедрой)

Рассмотрев магистерскую диссертацию студента группы № 37-3  
Адьяковой Оксаны Андреевны  
(фамилия, имя, отчество студента)

выполненную на тему Разработка программы эксперимента по строительству опытных  
домов для исследования и классификации дефектов теплопотерь

по реальному заказу \_\_\_\_\_  
(указать заказчика, если имеется)

с использованием ЭВМ Выполнение чертежей с использованием программы AutoCAD  
2016, расчет узлов ограждающей конструкции в ПК ELCUT, поиск нормативной  
литературы с использованием программы Консультант Плюс.  
(название задачи, если имеется)

Положительные стороны работы применен современный программный комплекс ELCUT,  
основанный на методе конечных элементов

в объеме 79 страниц ПЗ и 9 листов ГЧ магистерской диссертации, отмечается, что работа  
выполнена в соответствии с установленными требованиями и допускается кафедрой к  
защите.

Зав. Кафедрой 

«22» 06, 2019 г.

## АННОТАЦИЯ

на магистерскую диссертацию Адыяковой Оксаны Андреевны  
(фамилия, имя, отчество)

на тему: «Разработка программы эксперимента по строительству опытных домов для исследования и классификации дефектов теплопотерь»

*Актуальность тематики и ее значимость:* заключается в поиске снижения утечек тепловой энергии охватывающей как трансмиссионные теплопотери, так и инфильтрацию и эксфильтрацию. Научная новизна заключается в том, что обосновано усиление концентрации появление высолов на поверхности зданий в зимнее время как результат взаимодействия инфильтрационных и эксфильтрационных потоков, впервые было установлено, что величина инфильтрации в условиях резко-континентального климата, к которому относится Республика Хакасия, составляет более 30% от общей величины теплопотерь.

*Расчеты, проведенные в пояснительной записке:* В пояснительной записке проведены: расчет инфильтрации, расчет на паропроницаемость, расчет распределения парциального давления водяного пара по толще конструкция ограждения и определение возможности образования конденсата в толще ограждения (расчет точки росы), расчет узлов ограждающих конструкций, рассчитана экономическая эффективность.

*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 2013, Microsoft Office Excel 2013, AutoCAD 2016, ELCUT, Google Chrome.

*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 и освещает весь этап исследования.

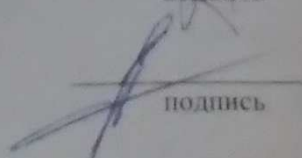
*Степень авторства:* Содержание магистерской работы разработано автором самостоятельно.

Автор магистерской работы

  
подпись

О.А. Адыякова  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель работы

  
подпись

О.З. Халимов  
(фамилия, имя, отчество)

## ABSTRACT

of the master's thesis by Oksana Adyyakova  
(first name, surname)

Theme: "Development of the experiment program for constructing experimental houses to study and classify heat loss defects"

*The relevance of the work and its importance:* in the search for reducing the leakage of thermal energy encompassing both transmission heat losses and infiltration and exfiltration. The scientific novelty consists in the fact that the increased concentration of the appearance of efflorescence on the surface of buildings in winter as a result of the interaction of infiltration and exfiltration flows has been justified, for the first time it has been established that the infiltration rate in the conditions of a sharply continental climate, to which the Republic of Khakassia belongs, amounts to more than 30% of the total heat loss.

*Calculations carried out in the explanatory note:* the explanatory note includes: an infiltration calculation, a vapor permeability calculation, a calculation of water vapor partial pressure distribution over the thickness of the fence design and determination of the possibility of condensate formation in the thickness of the fence (dew point calculation), a calculation of the enclosing structures units, an economic efficiency calculation.


*Usage of computer:* in all parts of the bachelor thesis including the explanatory note and graphical part the computer standard and special building programs have been used: Microsoft Office Word 2013, Microsoft Office Excel 2013, AutoCAD 2016, ELCUT, Google Chrome, have been applied.

*Quality of presentation:* the explanatory note and drawings have been made with high quality using a computer. The printout has been done with a laser printer using color printing for better visual expression.

*Coverage of results:* the results of the work carried out have been outlined in a sequential manner, they are specific and cover the entire stage of the study.

*Degree of authorship:* the content of the master's thesis has been developed by the author independently.

Author of the master's thesis

  
signature

Oksana Adyyakova  
(first name, surname)

Project supervisor

  
signature

Oleg Halimov  
(first name, surname)

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка программы эксперимента по строительству опытных домов для исследования и классификации дефектов теплопотерь» содержит 79 страниц текстового документа, 21 таблицу, 38 рисунков, 16 формул, 74 использованных источника.

### РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ ОПЫТНЫХ ДОМОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ ТЕПЛОПОТЕРЬ

Объект исследования является энергоэффективность наружных ограждающих конструкций малоэтажных зданий.

Предмет исследования – причины процессов теплопереноса, приводящих к ухудшению тепловой эффективности наружных ограждающих конструкций и микроклимата помещений.

Цель работы - разработка типологии дефектов теплопотерь здания, основанной на мониторинге и обследовании объектов малоэтажного строительства Республики Хакасия.

#### Задачи:

1 Анализ эффективности существующих конструктивных решений, направленных на снижение теплопереноса и поиск факторов, снижающих уровень теплозащиты ограждающих конструкций;

2 Визуальное и инструментальное обследование объекта малоэтажного строительства;

3 Исследование утилизации тепла через наружные ограждающие конструкции в натуральных условиях при помощи тепловизионного обследования;

4 Сравнение данных, полученных при помощи тепловизора с данными, полученными с применением современного программного комплекса Elcut;

5 Расчет истинной величины тепловых потерь за счет инфильтрации;

6 Выполнить анализ воздействия климатических условий Республики Хакасия на температурно-влажностные характеристики и воздухопроницаемость наружных ограждений;

7 Выполнить натурное исследование процессов переноса парообразной влаги через наружное ограждение;

8 Ранжирование дефектов теплопотерь ограждающих конструкций объектов малоэтажного строительства по этапам жизненного цикла;

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО СФУ


институт

Строительство

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Г.Н. Шибеева  
(подпись) (инициалы, фамилия)

«26» 09 2017 г.

### ЗАДАНИЕ

#### НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

в форме магистерской диссертации  
(бакалаврской работы, дипломного проекта, дипломной работы, магистерской диссертации)

Студенту (ке) Адьяковой Оксане Андреевне  
(фамилия, имя, отчество студента(ки))

Группа 37-3 Направление (специальность) 08.04.01  
(код)

Строительство

(наименование)

Тема выпускной квалификационной работы Разработка программы эксперимента по строительству опытных домов для исследования и классификации дефектов теплопотерь

Утверждена приказом по университету № 623 от 28.09.2017 г.

Руководитель ВКР О.З. Халимов, к.т.н., доцент  
(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для ВКР Проектная документация ООО «Экспертиза Недвижимости»

Перечень разделов ВКР Глава 1 Современное состояние исследований в вопросе повышения энергоэффективности ограждающих конструкций; Глава 2 Анализ теплопотерь через оболочку здания; Глава 3 Диагностика и классификация видов дефектов; Глава 4 Разработка программы эксперимента по строительству опытных домов для исследования и классификации дефектов теплопотерь

Руководитель ВКР

Задание принял к исполнению

(подпись)

  
(подпись)

О.З. Халимов  
(инициалы и фамилия)

О.А. Адьякова  
(инициалы и фамилия студента)

«26» 09 2017 г.