

Министерство науки и высшего образования РФ  
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

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

«Оптимизация архитектурных, конструктивных и теплотехнических узлов при  
создании мансардных этажей»

тема

08.04.01. Строительство

код и наименование направления подготовки

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, учёная степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>А.А. Арнгольд</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	_____	_____
	подпись, дата	должность, учёная степень	инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____	_____	_____
	подпись, дата	должность, учёная степень	инициалы, фамилия

Абакан 2019

**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)

\_\_\_\_\_ Шибасовой Галины Николаевны  
(фамилия, имя, отчество заведующего кафедрой)

Рассмотрев магистерскую диссертацию студента группы № 37-3

\_\_\_\_\_ Арнгольд Александра Александровича  
(фамилия, имя, отчество студента)

Выполненную на тему: «Оптимизация архитектурных, конструктивных и  
теплотехнических узлов при создании мансардных этажей»

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

С использованием ЭВМ: Microsoft Office Word 2010, Microsoft Office  
Excel 2010, AutoCAD 2017, программного комплекса ElCUT professional.

(название задачи, если имеется)

Положительные стороны работы: исследованы конструкционные недостатки  
узлов мансардного этажа эксплуатируемого здания; выявлены причины  
несовершенства проектных решений; разработана методика тепломониторинга  
зданий; на основе компьютерного моделирования в программном комплексе  
Elcut proffessional получены теплотехнические характеристики узлов мансарды  
и выявлены их основные мосты холода, даны рекомендации по устранению  
основных недостатков; выявленные в процессе исследования мансардного  
этажа дефекты, могут быть положены в классификацию типологии дефектов  
теплопотерь объектов недвижимости.

В объеме 93 листов магистерской диссертации, отмечается, что работа  
выполнена в соответствии с установленными требованиями и допускается  
кафедрой к защите.

Зав. Кафедрой Г.Н. Шибасова

«     » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Министерство науки и высшего образования РФ  
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.

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

в форме: \_\_\_\_\_ **магистерской диссертации** \_\_\_\_\_  
(бакалаврской работы, дипломного проекта, дипломной работы, магистерской диссертации)

Студенту: \_\_\_\_\_ **Арнгольд Александру Александровичу** \_\_\_\_\_  
(фамилия, имя, отчество студентки)

Группа \_\_\_\_\_ **37-3** \_\_\_\_\_ Направление (специальность) \_\_\_\_\_ **08.04.01** \_\_\_\_\_  
(код)

Теория и проектирование зданий и сооружений \_\_\_\_\_  
(наименование)

Тема выпускной квалификационной работы:  
\_\_\_\_\_ **«Оптимизация архитектурных, конструктивных и теплотехнических узлов при создании мансардных этажей»** \_\_\_\_\_

Утверждена приказом по университету \_\_\_\_\_ **№623 от 28.09.2017** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ **№779 от 19.10.2018** \_\_\_\_\_

Руководитель МД \_\_\_\_\_ **О.З. Халимов к.т.н., доцент.** \_\_\_\_\_

Исходные данные для МД \_\_\_\_\_ **Теоретические и практические исследования узлов мансарды в области обеспечения их конструктивной и теплотехнической надежности.** \_\_\_\_\_

Перечень разделов МД \_\_\_\_\_ **Аналитический литературный обзор;** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ **Экспериментальные методы исследований; Численные методы исследований,** \_\_\_\_\_

Перечень графического или иллюстративного материала с указанием основных чертежей, плакатов, слайдов \_\_\_\_\_ **9 плакатов формата А1** \_\_\_\_\_

Научный руководитель \_\_\_\_\_ **О.З. Халимов** \_\_\_\_\_  
подпись, дата инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ **А.А. Арнгольд** \_\_\_\_\_  
подпись, дата инициалы, фамилия

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

## АННОТАЦИЯ

на магистерскую диссертацию Арнгольд Александра Александровича  
(фамилия, имя, отчество)

на тему: ***«Оптимизация архитектурных, конструктивных и теплотехнических узлов при создании мансардных этажей»***

Актуальность тематики и её значимость – Актуальность работы заключается в выявлении дефектов теплозащиты мансардных этажей, в климатических условиях республики Хакасия и юга Красноярского края.

Использование ЭВМ: Во всех основных главах магистерской диссертации, использованы стандартные и специальные строительные программы ЭВМ: Microsoft Office Word 2010, Microsoft Office Excel 2010, AutoCAD 2019, Elcut professional.

Качество оформления: Магистерская диссертация выполнена с высоким качеством на ЭВМ. Распечатка диссертации сделана на лазерном принтере с использованием цветной печати для большей наглядности диаграмм, графиков и схем. Разработано согласно СТО 4.2.07-2014.

Оценка достигнутого результата: Цели и задачи магистерской диссертации были достигнуты и решены.

Освещение результатов работы: Результаты исследований и новые технические и конструктивные решения изложены последовательно, носят конкретный характер и отражают все этапы исследования.

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

Автор магистерской диссертации \_\_\_\_\_  
подпись

А.А. Арнгольд  
(фамилия, имя, отчество)

Научный руководитель \_\_\_\_\_  
подпись

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

## ABSTRACT

on the master thesis Arngold Aleksandr Aleksandrovich

(surname, first name)

the theme: **"Optimization of architectural, constructive and heat engineering units when creating mansard floors"**

Relevance of the topic and its importance – Relevance of the work is to identify defects in thermal protection of attic floors in the climatic conditions of the Republic of Khakassia and the south of the Krasnoyarsk Territory.

Computer use: In all major chapters of the master's thesis, standard and special computer construction programs were used: Microsoft Office Word 2010, Microsoft Office Excel 2010, AutoCAD 2017, Elcut professional.

Quality design: Master's thesis performed with high quality on a computer. The thesis was printed on a laser printer using color printing for greater visibility of diagrams, graphs and diagrams. Developed according to the STO 4.2.07-2014.

Evaluation of the achieved result: The goals and objectives of the master's thesis were achieved and solved.

Coverage of the results of the work: Research results and new technical and constructive solutions are presented consistently, are specific and highlight all the stages of the study.

Degree of authorship: Master thesis was done by me on my own. The materials and concepts used in the work from published scientific literature and other sources have links to them.

Author of the master thesis

\_\_\_\_\_  
signature

A.A. Arngold  
(surname, first name)

Scientific adviser

\_\_\_\_\_  
signature

O. Z. Chalimov  
(surname, first name)

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Оптимизация архитектурных, конструктивных и теплотехнических узлов при создании мансардных этажей», содержит 93 страницы текстового документа, 8 таблиц, 27 рисунков, 91 использованный источник.

### **Цель диссертационной работы:**

Целью данной магистерской диссертации является создание типологии дефектов мансардного этажа индивидуальных зданий республики Хакасия и юга Красноярского края.

### **Задачи исследования:**

В исследовании данной работы стоят следующие задачи:

1. Провести поиск и анализ существующих технологий проектирования мансардного этажа;
2. Исследовать влияние технических параметров на теплотехнические характеристики узлов мансард;
3. Оценить эффективность существующих методов проектирования мансардного этажа на примере эксплуатируемого объекта;
4. Выявить факторы движения инфильтрационных и эксфильтрационных воздушных потоков через щели и пустоты многослойных конструкций;
5. Оценить состояние работы теплоизоляции в узлах мансардного этажа на примере эксплуатируемого объекта в городе Абакан республики Хакасия;
6. Разработать типологию дефектов узлов мансардного этажа, выявить основные конструкционные и технологические недостатки, влияющие на теплоизоляцию здания.

### **Научная новизна:**

1. Выявлена зависимость факторов движения инфильтрационных потоков воздуха через многослойные ограждающие конструкции мансард, влияющая на общие теплопотери здания;
2. Разработана методика тепломониторинга зданий при разных погодных условиях;
3. Экспериментальным путем установлена закономерность снижения свойств теплозащиты здания при неконтролируемом качестве укладки его теплоизоляции;

### **Практическая значимость:**

1. Проведено исследование мансардного этажа, в ходе которого были выявлены основные конструкционные и теплотехнические недостатки его устройства;
2. Проведен расчет количества инфильтрационного воздуха, поступающего через щели и неплотности ограждающей конструкции. В ходе расчета выявлено, что на  $1 \text{ м}^2$  площади дефектной ограждающей конструкции приходится до 20.285 кг/ч. поступающего холодного потока воздуха.

Выявленные в процессе многозадачного исследования мансардного этажа дефекты, могут быть положены в основу классификации типологии дефектов теплопотерь объектов недвижимости;

3. Проведен расчет узлов мансарды на стационарный теплоперенос в программном комплексе Elcut professional. В ходе моделирования расчетом выявлены мосты холода и даны рекомендации по устранению выявленного брака.

### **Апробация работы:**

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ МАНСАРДНЫХ ЭТАЖЕЙ С ПОЗИЦИ ТЕПЛОСБЕРЕЖЕНИЯ. ОБЗОР НАУЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	10
1.1 Основные технологии и особенности устройства мансардных этажей. ....	10
1.2 Основные дефекты проектирования мансард, способствующие к теплотерям здания. ....	19
1.3 Энергосбережение при проектировании – ключевой фактор развития строительной отрасли.....	25
1.3 Выводы по главе 1.....	28
ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ТЕМЕ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ.....	29
2.1 Выявление факторов теплотерь и конструкционных недостатков при устройстве мансардного этажа в климатических условиях республики Хакасия и юга Красноярского края.....	29
2.1.1 Теплотехнический расчет существующей конструкции кровли, .....	37
расчет на паропроницаемость.....	37
2.1.2 Расчет количества инфильтрующего воздуха через щели и пустоты ограждающей конструкции кровли.....	49
2.2 Мониторинг теплотерь мансардного этажа. Анализ эффективности работы утеплителя. ....	54
2.3 Выводы по главе 2.....	64
ГЛАВА 3. КЛАССИФИКАЦИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ НЕДОСТАТКОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТИПОЛОГИИ ДЕФЕКТОВ В УЗЛАХ МАНСАРДНЫХ ЭТАЖЕЙ. ....	65



3.1 Область применения, возможности и построение задачи в программном комплексе ELCUT.....	66
3.2 Дефекты в узлах мансардного этажа. Численное моделирование теплового контура в программном комплексе ELCUT.....	68
3.2.1 Карнизный узел и кровельный пирог мансардного этажа.....	68
3.2.2 Перекрытие мансардного этажа, коньковый узел. ....	73
3.2.3 Узел сопряжения наружных стен мансардного этажа. ....	78
3.3 Выводы по главе 3.....	83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	84
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	85

## ВВЕДЕНИЕ

Последние годы ознаменовались, многократным увеличением объемов индивидуального жилищного строительства и резким изменением его типологического диапазона. В первую очередь это обусловлено изменениями в сфере жилищного строительства: на смену типовому проектированию пришло индивидуальное. Разнообразие технологий и стройматериалов на рынке позволило архитекторам и проектировщикам удовлетворить любое пожелание заказчика, а право собственности на землю позволило именовать малоэтажный дом с земельным участком полноценным малоэтажным жилищем [55].

Динамично развивающееся малоэтажное строительство постоянно требует для себя новых конструктивных и архитектурных решений, а ряд принятых в последние годы нормативно-правовых документов, основными из которых являются «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года» и Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», задают направления в области малоэтажного строительства [29].

Мансардный этаж представляет собой эксплуатируемое помещение, этаж на чердачном пространстве, фасад и ограждающие конструкции которого образуют и выполняют функции кровли. Применение мансардного этажа вместо полноценного имеет ряд преимуществ, как с архитектурной, так и с экономической точки зрения. Однако при строительстве мансард допускается огромное количество ошибок: из-за упрощения проектов, из-за неграмотности строителей или халатного отношения к постройке.

Процент домов с мансардным этажом, построенных в нашем регионе, по сравнению с Европейской частью страны, очень мал. Главная причина этому – дополнительные теплопотери, причинами которых могут служить дефекты конструкции, полученные как в процессе составления проекта, так и уже непосредственно на стадии возведения или эксплуатации объекта.

Энергосбережение на всех этапах жизненного цикла зданий имеет решающее значение. От принятых технических и технологических энергосберегающих решений, закладываемых на стадии архитектурно-строительного проектирования, зависят эксплуатационные показатели будущего объекта недвижимости, оказывающие влияние на безопасную и комфортную среду обитания человека [16].

Таким образом, исследования в области технологии строительства мансардного этажа и обеспечения его энергоэффективности в климатических условиях республики Хакасия и юга Красноярского края являются актуальными на сегодняшний день.

# ГЛАВА 1. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ МАНСАРДНЫХ ЭТАЖЕЙ С ПОЗИЦИИ ТЕПЛОСБЕРЕЖЕНИЯ. ОБЗОР НАУЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ.

## 1.1 Основные технологии и особенности устройства мансардных этажей.

Мансардный этаж по сравнению с обычным полноценным этажом имеет ряд преимуществ:

- Максимальное использование площади застройки;
- Повышение архитектурной выразительности здания;
- Экономия материалов и средств около 30% по отношению к полноценному этажу [14];
- Возможность создания дополнительной жилой площади в существующих зданиях или ограниченных площадях застройки.

Еще одним несомненным плюсом устройства мансардного этажа является то, что согласно нормам градостроительства [1], надстройка мансарды не влияет на этажность здания. Таким образом, частный дом, в котором устроен второй этаж как мансардный, является одноэтажным домом. Основные отличия мансардного этажа от полноценного, сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Отличительные характеристики мансарды от полноценного этажа.

Параметр	Мансарда	Второй этаж
Стоимость	Ниже. Величина экономии зависит от вида мансарды	Выше, затраты на материалы свыше 30%.
Длительность работ	Ниже по сравнению со строительством этажа	Высокая
Нагрузка на фундамент и несущие стены	Ниже	Выше
Объем воздуха	Ниже за счет скошенных стен	Выше.
Площадь	Полезная площадь меньше за счет «глухих» зон в месте примыкания кровли к стене.	Выше.
Планировка помещения	Планировка мансардного этажа осуществляется с учетом наличия глухих зон.	Свободная.
Площадь участка	Не изменяется.	Не изменяется.
Освещенность	Лучше, за счет наклонных окон, инсоляция помещения выше.	Зависит от количества и места расположения окон. Кроме того, глубокий откос окна задерживает 2/3 солнечного света.
Площадь остекления	На 25% меньше, нежели при использовании вертикальных окон	Минимум 1:8 к площади поверхностей стен (зависит от месторасположения)

Продолжение таблицы 1.

Потери тепла	Выше, однако, при правильном выполнении всех этапов работ, показатель практически одинаковый.	Ниже
Потребность в теплоизоляционном материале	Выше, однако, при правильном выполнении всех этапов работ показатель практически одинаковый.	Выше. Перекрытие над этажом нужно утеплять.
Эстетичность строения	Дом с мансардным этажом смотрится более элегантно и необычно.	Типовая конструкция.

Анализируя сравнительную таблицу, представленную выше, можно сделать вывод, что несмотря на некоторые сложности устройства и дополнительные затраты, мансарда имеет ряд преимуществ по отношению к полноценному этажу. Важным моментом является лишь то, что строительство мансарды требует большего внимания к технологии ее устройства [15, 34].

Немаловажной задачей является не только соблюдение существующих технологий, но и разработка новых методов и технологических решений, обеспечивающих повышение эксплуатационной надежности зданий, таких как снижение энергопотребления и теплопотерь, повышение комфортности проживания, улучшение архитектурного облика здания. На сегодняшний день классификация существующих технологий устройства мансардных этажей имеет следующий вид [7, 8, 43, 64]:

1) По конструкции:

- объемные блок-модули:
- бетонные (монолитные из легких бетонов);

- металлические;
- полносборная мансарда из сэндвич-панелей;
- деревянные (наиболее используемая);
- комбинированные с металлическим профилем и мягким утеплителем.

2) По уровню механизации:

- ручной способ;
- с использованием подъемника;
- крана;
- лебедки;
- конвейерный способ (канатно-тросовая система).

3) Транспортирование конструкций:

- пакетная схема;
- контейнерная схема;
- поэлементно.

4) По высотности:

- одноуровневые;
- двухуровневые.

5) По несущей конструкции:

- фермовые;
- балочные с распорками.

6) По способу сборки:

- сборка с мокрыми процессами;
- сборка с сухими процессами.

7) По сезонности использования:

- утепленные мансарды;
- неутепленные (используются редко).

Технологические решения при возведении мансард достаточно разнообразны. Они определяются многими факторами, такими как тип здания, уровень работ и финансовая составляющая проекта строительства. Для частного домостроительства, где объемы выполняемых работ невелики, а

уровень механизации стремится к нулю, наиболее предпочитаемой конструкцией выступает классическая схема мансард из дерева, реже – полносборная из сендвич-панелей [14, 66]. Использование привычной технологии с одной стороны не требует дополнительных знаний технологичности процесса, а с другой, использование деревянных элементов кровли требует строгого соблюдения технологии и готовности к различным нюансам.

Технологические решения устройства мансард достаточно разнообразны. Они определяются типом зданий, уровнем конструктивных работ, особенностью архитектурной составляющей кровли, а так же другими факторами. Существующие технологии устройства мансардных этажей различны и делятся на пять типов:

**I** Каркас из деревянных ферм на металлических шпонках с оконными блоками «Велюкс». Ручная сборка из полуферм. Утепление минераловатными плитами. Покрытие из металлочерепицы по обрешетке.

**II** Каркас из деревометаллических шпренгельных ферм по стойкам и обвязочному брусу. Оконное заполнение – из блоков. Утепление кровли производится минераловатными плитами. Сборка конструкции осуществляется ручным способом из полуферм, с осуществлением предварительного устройства монолитного железобетонного обвязочного пояса.

**III** Переустройство холодной кровли в жилую, с частичным изменением конфигурации кровли. Основной материал утепления при данном типе работ – утепление минераловатными плитами.

**IV** Возведение мансардного этажа в монолитном варианте с использованием мелкощитовой опалубки. Подача и укладка бетонной смеси осуществляется ручным, полуавтоматическим или автоматическим способом. Основной плюс данной технологии это применение ускоренных методов твердения бетона.

**V** Возведение мансардного этажа в блочной горизонтально перемещаемой опалубке. Утепление конструкций такого типа осуществляется



пенополистирольными плитами. В конструкции кровли используется металлическая черепица по обрешетке. Подача бетонной смеси полуавтоматическим способом. Как и в предыдущем варианте используются ускоренные методы твердения бетона.

Как известно, при выборе вариантов конструктивно-технологических решений наиболее важными показателями являются продолжительность выполнения работ и условия интенсификации процессов [18, 35]. Немаловажную роль так же играет и экономическая составляющая проекта, доступность материалов и простота технологии, не требующая высококвалифицированных специалистов на весь период работ.

Ввиду большого разнообразия проектов жилых домов на рынке недвижимости решение оптимального выбора вариантов проектирования может быть достигнуто основываясь на следующие пункты: принцип строительства, вид и конструкция мансарды, технология, организация и механизация работ по его устройству. Каждый вариант в таком случае описывается множеством различных характеристик: показатели эффективности, критерии оптимальности выбора и так далее [51].

Наряду с конструкционной составляющей, особое внимание при устройстве мансардных этажей должно уделяться теплоизолирующему материалу и кровельному покрытию мансард. Теплоизоляция мансардного этажа является одной из основных и довольно сложных задач, оптимальное решение которой до сих пор не найдено. По мнению специалистов оптимальным выбором для утепления конструкций мансард, могут быть плиты из каменной ваты плотностью 30-40 кг/м<sup>3</sup>, так как данный материал негорюч, паропроницаем и устойчив к деформациям [32].

В статье [49] предлагается использование более современных теплоизоляционных материалов, нежели привычных классических, описанных выше. Одним из таких материал является пеностекло. Применение данного материала взамен классических минераловатных утеплителей при возведении мансард позволяет создать не только легкие, но и прочные, капитальные

конструкции обеспечить долговременную защиту несущих конструкций при возникновении пожара. Данный теплоизоляционный материал может монтироваться на кровлю без устройства вентиляционного зазора, механического крепежа и пароизоляции. Применение такого решения нельзя назвать «средством от всех проблем», так как пеностекло является дорогостоящим материалом и для его использования в изоляции кровли требуется определенный навык и дополнительные трудозатраты. Так же необходимо заметить, что применение данного материала в конструкцию кровли без гидро-и пароизоляции не совсем корректно, так как конструкция «теплой кровли» подразумевает симбиоз работы разных строительных материалов, и для их взаимной и продолжительной работы наличие паро и гидроизоляции в кровле необходимо. О важности и необходимости пароизоляционной мембраны в многослойной конструкции кровли подробно сказано в статье [70, 76].

Существенное влияние на уровень теплопотерь и эксплуатационные характеристики в основном выделяют два основных фактора: качество и структуру теплоизоляционного материала, а так же ограждение его от капиллярного проникновения пара и влаги с помощью пленки-пароизоляции.

Опираясь на исследования [27, 28], проведенные в НИИСФ под руководством д.т.н., профессора Гагарина В.Г., показали, что ветрозащитная пленка может, при неправильном ее расположении в конструкции, перекрывать воздушную вентиляционную прослойку. Применение же мембраны вместо пароизоляционной пленки может привести к намоканию и переувлажнению утеплителя многослойной конструкции, из-за повышенного сопротивления паропрооницанию. Наряду с этим применение ветро-влажностной пленки предотвращает эмиссию волокна из утеплителя, позволяет уменьшить фильтрацию воздуха в утеплителе и тем самым способствует сохранению теплозащитных свойств ограждающих конструкций, а так же обеспечивает сохранность утеплителя в период монтажа и защищает утеплитель от увлажнения жидкими осадками в период эксплуатации объекта.

Именно пароизоляция призвана защитить утеплитель от проникновения в него паров влаги [6]. В мансардных помещениях теплый воздух, будучи легче холодного, поднимается вверх, следовательно температура воздуха под потолком выше приблизительно на 2°C, чем в середине комнаты. Кроме того, влагосодержание теплого воздуха обычно выше, чем холодного, поэтому конденсат на потолке верхнего этажа мансарды может образовываться при более высоких температурах, чем на внутренней поверхности наружных стен [21, 26].

Классическая схема мансардного этажа представляет собой многослойную конструкцию с расположением утеплителя между стропилами, реже – еще и поверх. Однако существуют технологии монтажа кровельных конструкций из сэндвич-панелей. Сэндвич панели представляют собой уже готовый конструкционный материал, состоящий из двух жестких листов, чаще всего ОСП, и слоя утеплителя между ними. Наиболее распространенная технология устройства мансардных этажей из сэндвич-панелей это так называемая технология каркасно-деревянных панелей – «Хаус-Концепт».

Конструкция мансардного этажа представляет собой многослойные панели на основе деревянного рамного каркаса, обшитого с наружной и внутренней стороны плитами ОСП. Внутреннее пространство панелей заполнено базальтовым утеплителем, который обеспечивает необходимую теплозащиту, а гидро-пароизоляционная мембрана обеспечивает защиту конструкций дома и утеплителя от влаги [64, 19, 65]. Преимущества данной технологии — это высокая точность изготовления, так как дом фактически изготавливается с помощью промышленного оборудования на предприятии, а монтируется на площадке. Несомненным плюсом выступают так же сжатые сроки изготовления и сборки, высокая экономичность при строительстве и эксплуатации. Однако существуют и недостатки, к таковым можно отнести необходимость использования монтажной и подъемной техники, огнеопасность применяемых материалов.

Для проектировщика, и в особенности для конечного лица, в виде потребителя, основным вопросом стоит не только грамотное утепление будущей конструкции, но и последующая инсоляция комнат «второго этажа». Освещенность мансардных комнат осуществляется с устройством в конструкции кровли специальных световых люков. Наиболее распространенными вариантами светопрозрачных конструкций используются окна «ВЕЛЮКС» или окна типа «ДОРМЕР» [64]. Однако устройство световых окон в кровле вызывает дополнительные трудности, усложняет стропильную систему и может привести к нарушению герметичности кровли и образованию дополнительных мостов холода [75].

## **1.2 Основные дефекты проектирования мансард, способствующие к теплотерям здания.**

Выбор и совмещение элементов кровли является сложной задачей, решение которой требует наличия определённой информации о характеристиках теплоизоляционных материалов, их совместимости с другими функциональными элементами кровельной системы.

Таким образом, еще на стадии проектирования мансардного этажа могут возникнуть следующие риски:

- неправильный выбор и совмещение теплоизоляционных материалов элементов кровли;
- несоблюдение рекомендаций и нормативов по устройству тепло-звуко-пароизоляции кровли;
- просчет в обеспечении несущей способности конструкции.

Однако основной процент брака приходится на производство и выполнение работ. Таким образом, основные риски, возникающие при производстве работ непосредственно на строительной площадке, могут иметь следующий характер:

- слабая квалификация рабочих;
- применение материалов, не соответствующих проекту;
- несоблюдение технологий по монтажу;
- слабый или отсутствующий контроль качества проведенных работ.

Однако зачастую риски и проблемы возникают уже на стадии эксплуатации здания, которые ведут к рекламации. Но с большой долей вероятности возникновению проблем причастен сам эксплуататор здания.

Основные риски, возникающие при эксплуатации мансардного этажа в следующем:

- несоблюдение температурно-влажностных характеристик помещения
- нарушение работы вентиляции помещения путем захламления или демонтажем вентиляционных каналов;

- внесение собственных изменений в конструкцию без переработки проекта.

Если рассматривать классическую схему мансардного этажа частного дома, то основными проблемными узлами, склонными к деформациям от внешней нагрузки и способствующими к образованию мостов холода будут выступать:

- карнизный узел;
- узел примыкания межэтажного перекрытия к основной стене;
- коньковый узел;
- окна и световые фонари в теле кровли.

Наиболее распространенный материал для возведения остова здания на сегодняшний день выступает кирпич и его более современные разновидности.

Как отмечалось в таблице 1, мансардный этаж придает объекту архитектурную выразительность, так как кровля имеет более сложный характер. Многообразие устройств мансардной кровли объясняется не только архитектурными решениями, но и желанием потенциального заказчика использовать подкровельное пространство с максимальной пользой, не теряя при этом эстетической составляющей. Однако более сложные кровельные конструкции требуют большего количества материалов и внимания к их надежности, так как ветровое воздействие на мансарду заметно больше, и это следует учитывать при проектировании. Так же при возведении ломаных силуэтов кровли, неизбежно будут возникать сложности в обеспечении теплоизоляции данных конструктивных узлов, так как в подстропильном пространстве, образованном наклонными плоскостями крыши, неизбежно образуются так называемые «мертвые зоны», которые могут выступать дополнительными очагами для образования мостов холода.

Еще одним фактором и очевидным недостатком в проектировании ограждающих конструкций в сейсмических условиях региона, является необходимость устройства антисейсмических поясов. Вкладывание чрезмерных запасов в устройстве антисейсмических поясов и сердечников приводят к тому,

что эти необходимые конструктивные меры являются мостиками холода [74]. В результате чего теряется не только энергоэффективность здания, но и происходит промерзание в данных узлах, приводящее к образованию вредоносных грибов – плесени, которые при вдыхании человеком повышают риск различных заболеваний. Таким образом, непроработка и отсутствие должного внимания проектировщиков к узлам теплозащиты антисейсмических поясов приводит объект недвижимости к ускоренному физическому и моральному износу [72, 46]. Подробно про проблемы теплопотерь через антисейсмические пояса и пути их решения с помощью дополнительного слоя изоляции описаны в работе [74].

При возведении основных несущих стен здания из камня, конструкция теплой кровли и узлы ее сопряжения с основной коробкой здания являются наиболее уязвимыми для образования дефектов, способствующих проникновению холодных потоков воздуха в помещение. Основными дефектами конструкции мансардного этажа принято считать образование щелей и неплотностей, что приводит к нарушению однородности многослойной конструкции.

Наличие и появление такого рода дефектов приводит к увеличению показателей инфильтрации воздуха – поступление в помещение наружного воздуха через неплотности наружных ограждений конструкций под действием гравитационного и ветрового давлений [45]. Помимо такого фактора как инфильтрация существует и другой показатель, обратный противоположный первому – эксфильтрация. Увеличение этих двух показателей в значительной мере снижают теплозащитные качества ограждений, а, следовательно, и нарушают воздушно-тепловой баланс помещения. Эксфильтрация наружного воздуха через ограждающие конструкции кровли, в холодный период года, способна вызывать дополнительные потери теплоты помещениями, а также охлаждение внутренних поверхностей ограждения. Поэтому в соответствии с требованиями [4], сопротивление воздухопроницанию  $R_v$  должно быть не менее требуемого сопротивления воздухопроницанию  $R_{v,тр.}$ ,  $m^2 \cdot ч \cdot Па/кг$ .

Еще одним фактором, влияющим на теплотери здания, является повышение влажности теплоизоляционных материалов, а следовательно, и значительное снижение их свойств. Кроме того, влажностный режим ограждений оказывает влияние и на долговечность самого утеплителя. Наиболее распространенным материалом для создания «теплой кровли» выступают минераловатные утеплители и его аналоги, однако данные материалы обладают низкой воздухопроницаемостью, а в следствии и склонностью к вбиранию в себя излишек влаги из воздуха в помещении [12]. Таким образом, процесс конденсации тесно связан с теплотехническим режимом ограждения, а избавление от конденсационной влаги в толще утеплителя нужно предусматривать еще на стадии проектирования [45, 47]. Необходимо помнить, что образование конденсата в конструкции кровли из минераловатных материалов – это, безусловно, негативный процесс, так как насыщенный влагой утеплитель практически полностью теряет все свои теплоизоляционные свойства и превращается в теплопроводящий материал, то есть выполняет функцию, противоположную своему прямому назначению, выступая прямым мостом холода. Этот факт описан в многочисленных зарубежных научных публикациях [84, 86, 87, 86, 87].

Как отмечалось выше, процесс инфильтрации воздуха в помещение является серьезной проблемой, однако современные нормы проектирования, и в частности сами проектировщики не уделяют должного внимания таким показателям как инфильтрация и, обратное ему значение, эксфильтрации. Процессу инфильтрации способствует экономайзерный эффект: разность давления наружного воздуха, превышающее давление внутреннего, в помещении. При этом, процесс инфильтрации воздуха в помещении усиливается с наветренной стороны здания, а так же в нижних этажах за счет действия гравитационного давления и разности температур по высоте здания [26, 39]. Таким образом, инфильтрация холодного воздуха на мансардном этаже будет еще выше.



Как отмечалось ранее, в процессе противоточного движения теплового потока из отапливаемого помещения сквозь щели и пустоты, в ограждающей конструкции возникает экономайзерный эффект, при котором часть трансмиссионного тепла помещения передается встречному воздушному потоку. Вследствие этого возникает большой риск выпадения точки росы в толще утеплителя, что снижает все его теплоизолирующие свойства на ноль. Исследования влияния влажности на теплофизические различных строительных материалов были начаты А.У. Франчуком. В дальнейшем, на основе результатов этих исследований были составлены таблицы теплотехнических характеристик строительных материалов [71], используемые в действующих нормах СП [28].

В дальнейшем, в исследования расчета энергопотребления и теплотехнических характеристик оболочки зданий большой вклад внесли В.Н. Богословский [22, 23], Ю.А. Табунщиков [67], В.Г. Гагарин [27, 28], В.К. Савин [60], А.И. Ананьев [9], В.И. Прохоров [54], Ю.А. Матросов [46] и другие ученые. Теплозащитные свойства зданий и их энергоэффективность оценивают исходя из обеспечения нормируемого энергопотребления, то есть оценка энергоэффективности зданий производится по удельному энергопотреблению путем сравнения нормируемого потребления и фактического (1,1).

$$q_{des} \leq q_{reg} \quad (1,1)$$

Где,  $q_{res}$ ,  $q_{reg}$  – расчетное и фактическое удельное энергопотребление здания. Очевидным фактом является то, что чем меньше значение  $q_{des}$ , удовлетворяющее условию (1), тем выше будет энергоэффективность здания в целом [39, 41]. Однако фактически добиться таких показателей на стадии проектирования, и особенно уже на стадии эксплуатации здания сложно.

Повысить энергоэффективность здания можно за счет уменьшения влияния так называемых краевых зон, т.е. локально неоднородных по геометрическим или теплофизическим параметрам участков ограждений, на

удельный расход энергии [39]. Следовательно, усовершенствование применяемых конструктивных решений наружных ограждений приводит к снижению трансмиссионных теплопотерь через оболочку здания на 29%, а расход тепловой энергии на отопление помещений на 25% [39].

В Российской Федерации в связи с вступлением в силу и реализацией федерального закона № 201-ФЗ «Об энергосбережении, и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ», дальнейшее внимание должно уделяться повышению теплозащитных характеристик ограждающих конструкций. Таким образом, в настоящее время именно энергосбережение и энергоэффективность зданий продолжают оставаться ключевыми темами, как среди крупных застройщиков, так и частных лиц.

Однако действие упомянутого выше закона не распространяется на индивидуальные дома и застройки частного характера, таким образом, стоит проблема не только информированности, но и мотивированности частного сектора, решением которой может стать необходимая деятельность органов административной власти региональных и муниципальных учреждений.

Так же на сегодняшний день в республике Хакасия отсутствуют либо не выполняются требования по экологической экспертизе при введении новых районов малоэтажной застройки и частного сектора. При этом проблема теплопотерь здания имеет прямую зависимость с экологической составляющей среды обитания человека.

Тема энергосбережения до недавнего времени в России и в частности в республике Хакасия является, по мнению В. Я. Ушакова, «преимущественно, побочным продуктом научно-технического прогресса» [72]. Поэтому при возведении конструкций и в частности элементов мансардного этажа, основной упор направлен на обеспечение конструктивной надежности без расчета на обеспечение теплоизоляции.

### 1.3 Энергосбережение при проектировании – ключевой фактор развития строительной отрасли.

В современных условиях строительства существуют факторы совершенствования традиционных технологий надстройки мансардного этажа, однако исследования в основном направлены на применение новых теплоизоляционных материалов, без учета технологичности обеспечения тепловой надежности узлов конструкций. Проблемы энергосбережения и энергоэффективности зданий, как в Российской, так и в мировой экономике являются одними из наиболее актуальных, а способы решения этих проблем будут в значительной мере определять место нашего общества в ряду экономически развитых стран и уровень жизни и жилья российских граждан [54, 46].

Стоит отметить, что энергоэффективность и энергосбережение занимают прочную нишу в устойчивости среды обитания человека. Данный показатель имеет максимальное значение среди параметров оценки качества среды обитания человека в жилищной сфере, таблица 2 [68].

Таблица 2 – Категории оценки устойчивости среды обитания.

Категория	Весомость категории, %
Комфорт и качество внешней среды	10,8
Комфорт и экология внутренней среды	13,3
Качество архитектуры и планировки объекта	9,2
Рациональное водопользование	6,1
Применение альтернативной и возобновляемой энергии	9,2
Качество санитарной защиты и утилизация отходов	3,9
Энергосбережение и энергоэффективность	18,5
Экология создания, эксплуатации и утилизации объекта	9,8

## Продолжение таблицы 2.

Качество подготовки и управления проектом	9,2
Экономическая эффективность	10

Стоит отметить, что данная категория, таблица 2, включает в себя такие критерии оценки энергопотребления инженерными системами здания в отдельности и суммарный расход первичной энергии [68]. Следовательно, такой подход оценки позволяет провести полный анализ, как энергопотребления здания, так и суммарного влияния энергосберегающих мероприятий.

Проблеме теплосбережения и энергоэффективности проектируемых и существующих зданий посвящены работы многих отечественных ученых таких как И.Л. Шубина [77], А.И. Ананьева [9–11], А.Г. Перехоженцева [52], Ю.А. Матросова [46], А.Н. Дмитриева [59], Ю.Я. Кувшинова [42], В.И. Прохорова [54], Т.А. Дацюк [33], Н.И. Ватина [88], А.Г. Сотникова [63], в том числе и зарубежных М. Tenpieric [90], Y. Cheng [80], A. Alajmi [78], C. Rode [89], G. Hauser [82, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Таким образом, для обеспечения энергоэффективности проектируемого и (или) строящегося мансардного этажа, необходимо разработать систему теплотехнических экспертиз, для консультаций или сотрудничества проектировщиков, которая будет включать в себя операционный контроль качества принятых решений. Только экспертный учет на каждом этапе строительства, а не на завершающей стадии проекта, позволит не допустить потери стоимости объекта за счёт повышения энергоэффективности ограждающих конструкций и недопущения утечек тепла через наиболее уязвимые места для данного типа зданий [73].

При оценке энергоэффективности здания, следует учитывать и показатель компактности здания, на который влияют его этажность, конфигурация, изрезанность фасада и так далее[56]. Чем ниже этажность здания, тем большее значение показателя компактности, так как у малоэтажных зданий отношение

площади ограждающих конструкций к объему существенно возрастает по сравнению с многоэтажными. Таким образом, малоэтажные здания, из-за меньшего значения показателя компактности, являются менее тепло и энергоэффективными по сравнению с многоэтажными, при этом требующие при расходе тех же энергоресурсов и лучшей теплозащиты [56].

Опираясь на все вышеизложенное, следует сделать выводы, что для разработки качественного энергоэффективного проекта малоэтажного строительства, необходима качественная проработка проекта организации строительства и создание базы дефектов узлов конструкций [18]. При этом, следует помнить что реконструкция объекта всегда обходится дороже и требует больших трудовых и временных затрат [55].

### 1.3 Выводы по главе 1

1) В ходе литературного обзора и анализа существующих технологий устройства мансардных этажей было выявлено, что, не смотря на то, что современный рынок переполнен видами теплоизолирующих материалов и технологий устройства мансард, существует проблема обеспечения энергоэффективности и надежности с позиции теплосбережения проектируемого и (или) строящегося здания в целом, а так же узлов его конструкций.

## **ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ТЕМЕ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ.**

### **2.1 Выявление факторов теплопотерь и конструкционных недостатков при устройстве мансардного этажа в климатических условиях республики Хакасия и юга Красноярского края.**

В соответствии с нормами [5] климатические условия республики Хакасия, по данным многолетних метеорологических наблюдений, относятся к резко-континентальным. Эти условия характеризуется коротким жарким летом, продолжительной холодной зимой, со значительными сезонными и суточными колебаниями температуры воздуха. В течение года преобладают ветры юго-западного направления. Поэтому вероятность значительных теплопотерь через ограждающие конструкции здания крайне высока, следовательно, вопрос о необходимости повышения энергоэффективности зданий является преобладающим после вопроса об обеспечении конструкционной надежности здания.

Для того чтобы снизить теплопотери здания и повысить его теплотехническую надежность, необходимо провести тепломониторинг здания и на основании полученных данных дать необходимые рекомендации по устранению причин [73]. При этом, для обеспечения энергоэффективности проектируемого и (или) уже имеющегося здания необходима система теплотехнических экспертиз, которая будет заключаться в подключении специалистов для консультаций [72].

Для выявления факторов теплопотерь было проведено обследование мансардного этажа частного дома в городе Абакан республики Хакасия. При обследовании использована инфракрасная камера FLIR B200 предназначенная для измерения температуры и предоставляющая в виде изображений испускаемое объектом тепловое излучение, свидетельствующее о дефектах конструкции и проникновении холодных или теплых потоков воздуха. Тепловизионная съемка проводилась при наружной температуре  $t_n = -12^\circ\text{C}$ , и

влажности воздуха 25–30%. Температура внутри помещения равна  $t_B = +22^\circ\text{C}$ , влажность воздуха ~55%. Коэффициент излучения поверхности – 0,92.

По результатам проведенной тепловизионной съемки мансардного этажа выявлены следующие дефекты теплового контура здания:

- Промерзания наблюдаются в узлах сопряжения наружных стен, рисунок 1, и в местах примыкания стен к перекрытию первого этажа, рисунок 2.
- Также значительные перепады температур наблюдаются в слоистой конструкции кровельного пирога мансарды, рисунок 3.

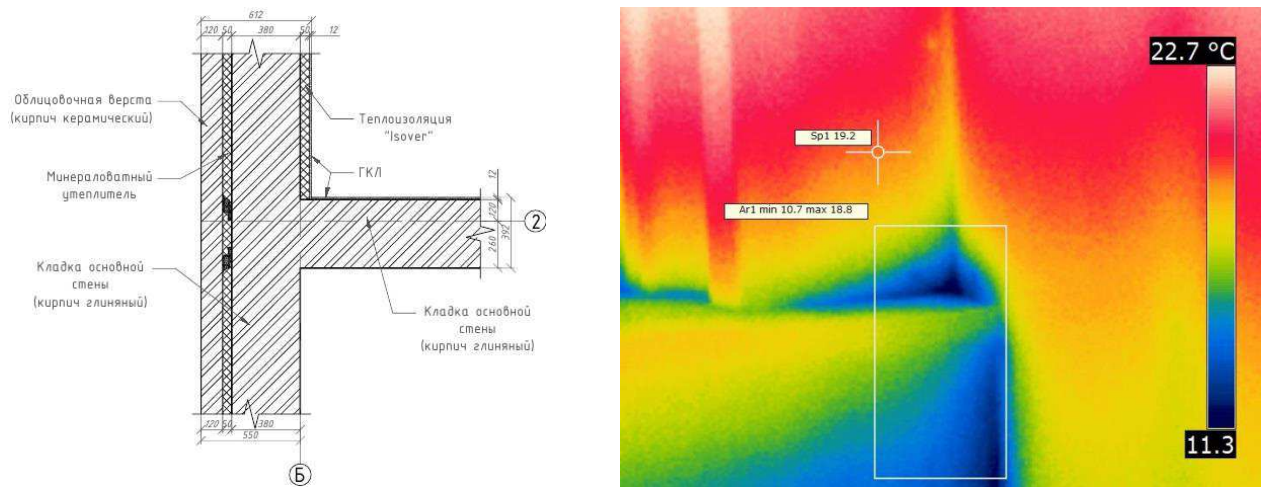


Рисунок 1 – Чертеж и термограмма узла конструкции стыка наружных стен.

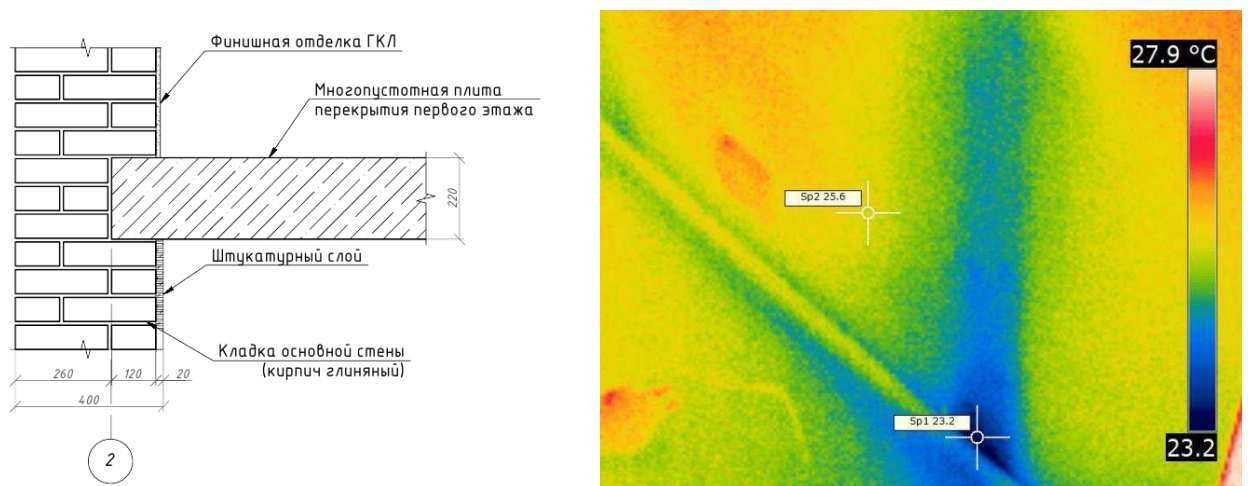


Рисунок 2 – Чертеж и термограмма конструкции узла перекрытия.



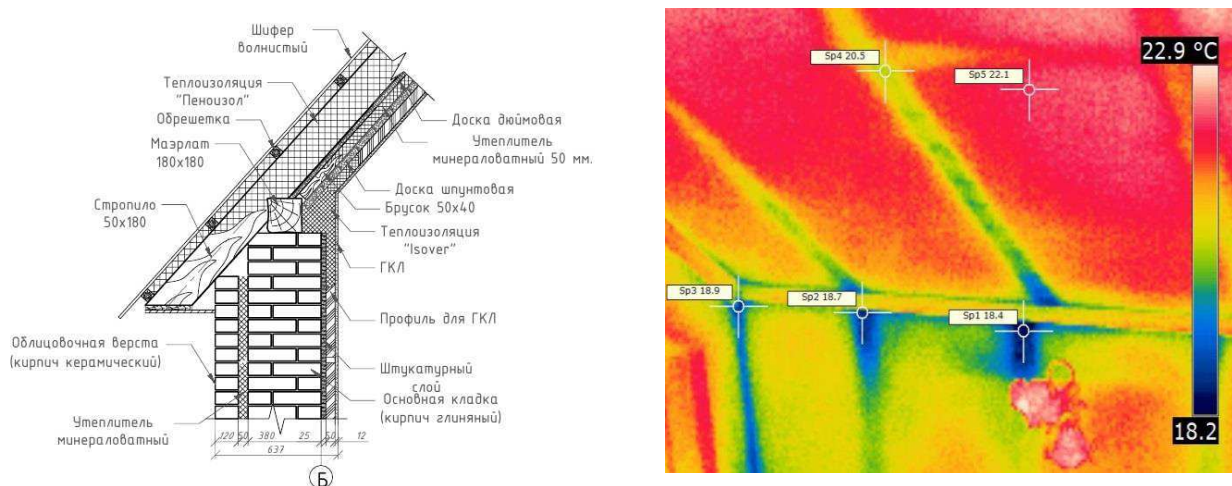


Рисунок 3 – Чертеж карнизного узла и термограмма данного участка.

Анализируя результаты тепловизионной съемки мансардного этажа, можно сделать выводы, что основные мосты холода конструкции – это стыки и сопряжения разнородных материалов. Краевые зоны здания в большей степени подвергнуты к дополнительным теплопотерям [39], а на мансардном этаже это значение может быть значительно выше, так как конструкция мансардного этажа представляет собой участки локально неоднородных по геометрическим и теплофизическим параметрам [40, 41].

На основании вышеописанной тепловизионной съемки участков мансардного этажа, было принято решение произвести локальное вскрытие многослойной конструкции кровельного пирога, с целью обнаружения и выявления в ней таких дефектов как:

- Влажность утеплителя;
- Наличие грибка;
- «Сползание» утеплителя;
- Наличие трещин и пустот в конструкции.

Вскрытие многослойной конструкции проводилось в летний период с внутренней части помещения. Работа по вскрытию была произведена в следующей последовательности:

1) Вскрытие финишной отделки из ГКЛ толщиной  $t=12$  мм. с внутренней части помещения. Вскрытие было произведено путем выполнения прямоугольного пропила размерами  $\sim 400 \times 300$  мм. рисунок 4.



Рисунок 4 – Вскрытие финишной отделки из ГКЛ.

В ходе изъятия первого слоя утеплителя толщиной  $t=50$  мм. (материал утеплителя – минеральная вата на основе кварца «Isover»), было обнаружено, что утеплитель содержит примеси и вкрапления в своей толще пылевых отложений, рисунок 5. Данное явление свидетельствует о том, что слоистая конструкция мансардного этажа не герметична, следовательно проникновение и оседание пыли в утеплителе возможно за счет инфильтрующих и эксфильтрующих потоков воздуха во время ветра сквозь образовавшиеся щели и пустоты в последующих слоях кровли [26].

Наличие увлажненных участков и очагов плесени в данном слое, а так же «сползания» утеплителя не обнаружено.



Рисунок 5 – Наличие пылеватых отложений в утеплителе.

2) Следующий слой утеплителя в конструкции кровли огражден настилом из шпунтовых досок  $t=40$  мм. Для того чтобы добраться до следующего слоя утеплителя, в настиле из досок было выпилено «окно» размерами  $\sim 100 \times 150$  мм. рисунок 6.



Рисунок 6 – Вскрытие слоя кровли из шпунтовых досок.

Последующий слой утеплителя, находящийся за слоем из настила шпунтовых досок представляет собой материал – плита минераловатная. Данный теплоизолирующий материал низкого качества и имеет неоднородную структуру плотности. Наличие увлажненных участков и очагов плесени так же не обнаружено.

На данном этапе было выявлено, что, настил из шпунтовых досок, в процессе эксплуатации здания и деформаций кровли, дал усадку, что способствовало образованию неравномерных щелей и зазоров, рисунок 7, которые могли стать причиной переноса холода от наружной части здания вглубь конструкции. Данный факт подтверждается наличием пылевых отложений в толще первого слоя утеплителя, рисунок 5.



Рисунок 7 – Наличие щелей и зазоров между настилом из шпунтовых досок.

3) Последующий, первый слой утеплителя с наружной стороны многослойной конструкции, представляет собой напыляемый материал – Пеноизол. Данный теплоизолирующий материал, по словам владельца, практически сразу после нанесения дал значительные трещины и разрывы, причинами которых послужила усадка дома и деформации конструкции.

Материал так же закрыт с внутренней стороны помещения сплошным настилом из досок  $t=32$  мм., которые, как и настил из шпунтовых досок, не имеют плотного прилегания друг к другу. Добраться в полной мере до данного слоя утеплителя не представлялось возможным ввиду сложности данной конструкции кровли. Поэтому для того чтобы проверить состояние утеплителя и выявить в нем наличие влажности, в настиле из теса было высверлено отверстие  $\sim\varnothing 30$  мм. В ходе вскрытия, повышенной влажности, а так же нарушения структуры утеплителя не обнаружено.

4) Далее была предпринята попытка вскрытия финишной отделки из ГКЛ ниже ската кровли, с целью исследования состояния бруса-мауэрлата и обнаружения под ним щелей и пустот. Последовательность работ аналогична последовательности вскрытия кровельного пирога.

Как и в случае вскрытия «кровельного пирога», первым слоем является минеральная вата на основе кварца «Isover», в которой так же содержатся пылевые отложения, как и в предыдущем месте вскрытия, рисунок 8.



Рисунок 8 – Пылевые отложения в утеплителе в области бруса-мауэрлата.

Содержание пылевых отложений в толще утеплителя говорит о том, что под отделочным слоем из гипсокартонных листов происходит обильное проникновение потоков воздуха. Вероятнее всего проникновение воздуха в утеплитель происходит со стороны кровли, так как в процессе вскрытия было обнаружено неплотное примыкание стыка шпунтовых досок с кладкой стены, рисунок 9.

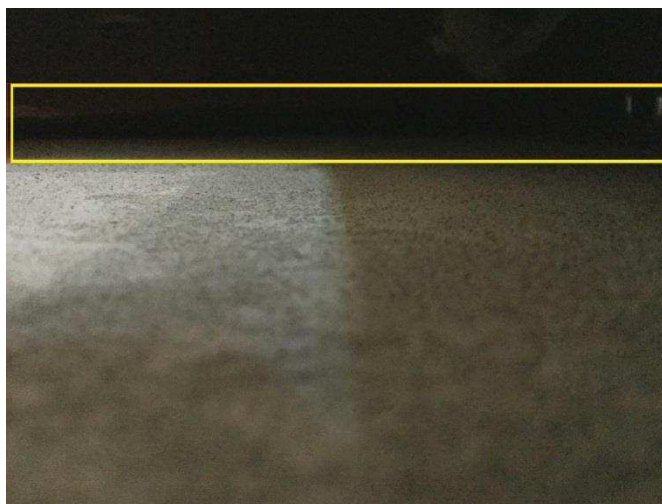


Рисунок 9 – Неплотное примыкание настила кровли с основной стеной.  
(прямоугольником выделена щель между настилом и кладкой стены)

В связи со сложностью устройства финишного слоя из ГКЛ и наличием слоя штукатурки поверх кладки основной стены вплоть до стыка с кровлей, обследовать состояние бруса-мауэрлата не удалось. Однако отставание штукатурного слоя и трещины в нем не обнаружены, что свидетельствует о том, что повышенной влажности в данном слое нет.

Проведенное обследование состояния конструкции «кровельного пирога» выявило ряд конструктивных недостатков, таких как щели и зазоры между чистовым и черновым настилом, низкая однородность основного теплоизоляционного слоя и отсутствие необходимого паро- и гидро-барьера как со стороны помещения, так и ветрозащитной мембраны со стороны наружного контура ограждающей конструкции. О необходимости и технологии устройства пароизоляционных материалов в кровле мансардного этажа подробно освещено в работах [13, 20, 21].

## 2.1.1 Теплотехнический расчет существующей конструкции кровли, расчет на паропроницаемость.

После проведенного исследования, описанного в предыдущем пункте, в первую очередь необходимо было произвести теплотехнический расчет для выявления соответствия принятых конструктивных решений при утеплении кровельного пирога. Расчет произведен в соответствии с требованиями нормативных документов [2, 4].

### Исходные данные:

- Район строительства: г. Абакан РХ;
- Относительная влажность воздуха:  $\varphi_{в} = 55 \%$ ;
- Тип здания или помещения: Жилые;
- Расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания:  $t_{в} = 23^{\circ} \text{C}$ ;

В соответствии с таблицей 1 [4] при температуре внутреннего воздуха здания  $t_{\text{int}} = 23^{\circ} \text{C}$  и относительной влажности воздуха  $\varphi_{\text{int}} = 50\%$  влажностный режим помещения устанавливается, как нормальный.

Определим базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче  $R_0^{\text{TP}}$ , исходя из нормативных требований к приведенному сопротивлению теплопередаче п. 5.2 [4] согласно формуле 1:

$$R_0^{\text{TP}} = a * \text{ГСОП} + b \quad (1)$$

где  $a$  и  $b$ - коэффициенты, значения которых следует приниматься по данным таблицы 3 [4] для соответствующих групп зданий. Так для данной ограждающей конструкции,  $a=0.00045$ ,  $b=1.9$ .

Определим градусо-сутки отопительного периода ГСОП,  $^{\circ}\text{C} * \text{сут.}$  по формуле 2 в соответствии с пунктом 5.2 [4]:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) * Z_{\text{от}} \quad (2)$$

где  $t_{\text{в}} = 23^{\circ}\text{C}$  – расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания;  
 $t_{\text{от}} = -7.9^{\circ}\text{C}$  – средняя температура наружного воздуха, принимаемая по таблице 1 [5] для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более  $8^{\circ}\text{C}$  для данного типа здания – жилые;

$Z_{\text{от}} = 223$  сут. – продолжительность в сутках отопительного периода, принимаемые по таблице 1 [5] для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более  $8^{\circ}\text{C}$  для типа здания – жилые. Тогда

$$\text{ГСОП} = (23 - (-7.9)) * 223 = 7336.7^{\circ}\text{C} * \text{сут.}$$

По формуле 1 в соответствии с таблицей 3 [5] определим базовое значение требуемого сопротивления теплопередачи  $R_0^{\text{TP}}$  ( $\text{м}^2 * ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ ):

$$R_0^{\text{TP}} = 0.00045 * 7336.7 + 1.9 = 5.2 \text{ м}^2\text{C}/\text{Вт.}$$

Поскольку населенный пункт Абакан относится к сухой зоне влажности, при этом влажностный режим помещения - нормальный, то в соответствии с таблицей 2 [5] теплотехнические характеристики материалов ограждающих конструкций будут приняты, как для условий эксплуатации А.

Схема ограждающей конструкции представлена на рисунок 10.



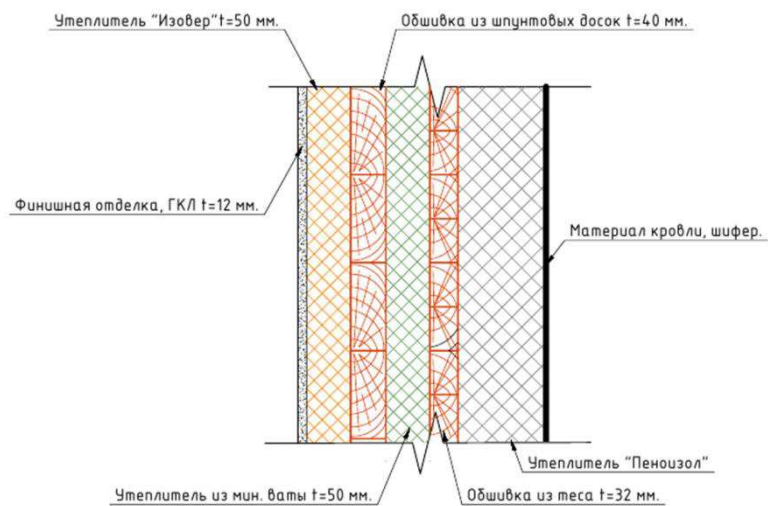


Рисунок 10 – Состав многослойной конструкции.

Элементы конструкции ограждения расположены в порядке их следования от наружной грани к внутренней, где:

1. Листы волнистые асбестоцементные  $\delta_1=0.01$  м,  $\rho=1800$  кг/м.куб, коэффициент теплопроводности  $\lambda_{A1}=0.47$  Вт/(м°C), паропроницаемость  $\mu_1=0.03$  мг/(м·ч·Па);
2. Теплоизоляция «Пеноизол». Данный материал не учитывается при расчете, поскольку имеет усадочные трещины с шириной раскрытия до 20 мм.
3. Подшивной слой из досок  $\delta_2=0.032$  м, коэффициент теплопроводности  $\lambda_{A2}=0.14$  Вт/(м°C), паропроницаемость  $\mu_2=0.06$  мг/(м·ч·Па);
4. Маты минераловатные, б.у.  $\rho=75$  кг/м.куб,  $\delta_3=0.05$  м, коэффициент теплопроводности  $\lambda_{A3}=0.058$  Вт/(м°C), паропроницаемость  $\mu_3=0.53$  мг/(м·ч·Па);
5. Подшивной слой из шпунтовых досок  $\delta_4=0.04$  м, коэффициент теплопроводности  $\lambda_{A4}=0.14$  Вт/(м°C), паропроницаемость  $\mu_4=0.06$  мг/(м·ч·Па);
6. Утеплитель «ISOVER Стандарт»  $\delta_5=0.05$  м, коэффициент теплопроводности  $\lambda_{A5}=0.038$  Вт/(м°C), паропроницаемость  $\mu_5=0.3$  мг/(м·ч·Па);
7. Финишная отделка стены гипсоволокнистым листом  $\delta_6=0.012$  м,  $\rho=800$  кг/м.куб, толщина коэффициент теплопроводности  $\lambda_{A6}=0.19$  Вт/(м°C), паропроницаемость  $\mu_6=0.075$  мг/(м·ч·Па).

Условное сопротивление теплопередаче  $R_0^{усл}$ , м<sup>2</sup>°C/Вт. определим по формуле 3, в соответствии с приложением Е.6 [4]:

$$R_0^{усл} = \frac{1}{a_{int} + \delta_n / \lambda_n + 1 / a_{ext}} \quad (3)$$

где  $a_{int} = 8.7$  Вт/(м<sup>2</sup>°C) – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м<sup>2</sup>°C), принимаемый по таблице 4 [4].

$a_{ext} = 12$  Вт/(м<sup>2</sup>°C – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода, принимаемый по таблице 6 согласно пункта 3 [4]. Отсюда:

$$R_0^{усл} = \frac{1}{8,7 + \frac{0,01}{0,47} + \frac{0,032}{0,14} + \frac{0,05}{0,058} + \frac{0,04}{0,14} + \frac{0,05}{0,38} + \frac{0,12}{0,19} + \frac{1}{12}} = 2.97 \text{ м}^2\text{°C/Вт.}$$

Приведенное сопротивление теплопередаче  $R_0^{пр}$  (м<sup>2</sup>°C/Вт.) определим по формуле 4 в соответствии с [4]:

$$R_0^{пр} = R_0^{усл} * r \quad (4)$$

где  $r = 0.97$  – коэффициент теплотехнической однородности ограждающей конструкции, учитывающий влияние стыков, откосов проемов, обрамляющих ребер, гибких связей и других теплопроводных включений, тогда

$$R_0^{пр} = 2,97 * 0,97 = 2,88 \text{ м}^2\text{°C/Вт.}$$

Сравнив полученное значение по формуле 1, с результатом по формуле 4  $R_0^{пр} = 2.88 \leq R_0^{тp} = 5.2$  м<sup>2</sup>°C/Вт., можно сделать вывод, что представленная ограждающая конструкция не соответствует требованиям по теплопередаче.

Ранее отмечалось, что на мансардном этаже давление водяного пара на кровельный пирог стремится к максимальным значениям. Это обуславливается тем, что к давлению пара дополнительно прибавляется еще и давление теплого воздуха, который в отапливаемом помещении стремится к верхней точке этажа – ограждающей конструкции кровли [22]. Именно поэтому необходимо произвести расчет на паропроницаемость слоев ограждающей конструкции. При этом важным значением должно быть условие увеличения, к наружной поверхности, паропроницаемости материала. В противном случае, менее паропроницаемый материал будет накапливать в себе влагу и не успевать ее отдавать, а, как известно, влажный утеплитель теряет свои свойства в геометрической прогрессии, что в условиях утепленной кровли крайне нежелательно.

Расчет паропроницаемости ограждающей конструкции кровли произведен в соответствии с действующими нормами [4]. Для определения плоскости возможной конденсации определим для каждого слоя значение комплекса  $f_i(t_{м.у.})$ , по формуле 5, согласно формулы 8.7 [4].

$$f_i(t_{м.у.}) = 5330 * \frac{R_{о.п.} * (t_{в} - t_{н.отр})}{R_0^{усл} * (e_{в} - e_{н.отр})} * \frac{\mu_i}{\lambda_i} \quad (5)$$

где  $R_{о.п.}$  – общее сопротивление паропроницаемости ограждающей конструкции  $м^2 \cdot ч \cdot Па/мг$  определяемое согласно 8.7 [4];

$$R_{о.п.} = \frac{0.01}{0.03} + \frac{0.032}{0.06} + \frac{0.05}{0.53} + \frac{0.04}{0.06} + \frac{0.05}{0.3} + \frac{0.012}{0.075} = 1.95 м^2 * ч * Па/мг.$$

$R_0^{усл} = 2.97 м^2 * °С/Вт.$  – условное сопротивление теплопередаче однородной многослойной ограждающей конструкции, определяемое по формулам Е.6, Е.7 [4];

$t_{н.отр} = -16°С$  – средняя температура наружного воздуха для периода с отрицательными среднемесячными температурами, согласно таблицы 1 [4];

$t_{\text{в}} = 23^{\circ}\text{C}$  – расчетная температура внутреннего воздуха здания;

$e_{\text{в}}$  – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, определяется по формуле 6:

$$e_{\text{в}} = (\varphi_{\text{в}}/100)E \quad (6)$$

где,  $E$  – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре  $t_{\text{в}} = 23^{\circ}\text{C}$ , принимается по формуле пункта 8.10 [4], отсюда

$$E = 1.84 * 10^{11} \exp\left(-\frac{5330}{273 + 25}\right) = 3141 \text{ Па.}$$

$$e_{\text{в}} = \left(\frac{50}{100}\right) * 3141 = 1571 \text{ Па.}$$

$e_{\text{н.отр}}$  – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, Па.

$$e_{\text{н.отр}} = 1,84 * 10^{11} \exp(-5330/(273 + (-16))) = 181 \text{ Па,}$$

для температуры  $t_{\text{н.отр}} = -16^{\circ}\text{C}$  согласно пункта 8.10 [4];

$\lambda_i, \mu_i$  – расчетные коэффициенты теплопроводности, Вт/(м · °C), и паропроницаемости, мг/(м·ч·Па), материала соответствующего слоя.

Для каждого значения  $f_i(t_{\text{м.у.}})$  необходимо определить по таблице 11[4]  $t_{\text{м.у.}}$  и температуру на границе слоев  $t_{\text{н}}$  и  $t_{\text{к}}$  определенную по формуле 8.10 [4]. Для удобства значения каждого слоя сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Характеристики слоев ограждающей конструкции.

№ слоя	Наименование материала	$f_i(t_{м.у.})$	$t_{м.у.}$	$t_n$	$t_k$
1	Листы асбестоцементные плоские ( $\rho=1800\text{кг/м}^3$ )	6.6	2.9	- 14.8	- 14.6
2	Сосна и ель поперек волокон (Настил из теса)	44.2	16.7	- 14.6	- 11.4
3	Маты минераловатные ( $\rho=75\text{ кг/м}^3$ )	943.2	- 29.3	- 11.4	0.5
4	Сосна и ель поперек волокон (Настил из шпунтовых досок)	44.2	16.7	0.5	4.4
5	ISOVER Стандарт	814.9	- 26.9	4.4	22.6
6	Листы гипсовые обшивочные ( $\rho=800\text{ кг/м}^3$ )	40.7	17.8	22.6	23.5

Согласно пункта 8.5.5 [4], плоскость максимального увлажнения находится между слоями №2 и №3 то есть на поверхности слоя «Маты минераловатные» ( $\rho=75\text{ кг/м.куб}$ ).

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

$$R_n = \frac{0.12}{0.075} + \frac{0.05}{0.3} + \frac{0.04}{0.06} + \frac{0.05}{0.53} = 1.09 \text{ м}^2 * \text{ч} * \text{Па/мг.}$$

Сопротивление паропроницанию  $R_n \text{ м}^2 * \text{ч} * \text{Па/мг.}$ , должно быть не менее нормируемых сопротивлений паропроницанию, определяемых по формулам 7 и 8, в соответствии с нормами [4].

$$R_{n1}^{\text{TP}} = (e_B - E) * R_{п.н.} / (E - e_n) \quad (7)$$

$$R_{n2}^{\text{TP}} = 0,0024 * z_0 * (e_B - E_0) / (p_w \delta_w \Delta w_{av} + \eta) \quad (8)$$

где  $e_B$  – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха, определяемое по формуле 6.

$E$  – парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации, определяемое по формуле 9.

$$E = (E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3) / 12 \quad (9)$$

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, месяцев, соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, определяемая с учетом следующих условий, где

а) к зимнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже минус  $5^\circ\text{C}$ ;

б) к весенне-осеннему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха от минус 5 до плюс  $5^\circ\text{C}$ ;

в) к летнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха выше плюс  $5^\circ\text{C}$ .

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

$$\sum R = \frac{0.05}{0.058} + \frac{0.04}{0.14} + \frac{0.05}{0.038} + \frac{0.012}{0.19} + \frac{1}{8.7} = 2.64 \text{ м}^2 * \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Установим для периодов их продолжительность  $z_i$ , суток, среднюю температуру  $t_i$ ,  $^\circ\text{C}$ , согласно [4] и рассчитаем соответствующую температуру в плоскости возможной конденсации  $t_i$ ,  $^\circ\text{C}$ , по формуле пункта 8.10 [4], для климатических условий населенного пункта города Абакан.

Зима (январь, февраль, март, ноябрь, декабрь):

$$z_1 = 5 \text{ месяцев};$$

$$t_1 = \frac{[(-25.5) + (-18.5) + (-8.5) + (-9.5) + (-17.9)]}{5} = -16^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 25 - (25 - (-16)) * \frac{2.64}{2.97} = -11.4^\circ\text{C}$$

Весна-осень (апрель, октябрь):

$$z_2 = 2 \text{ месяца};$$

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

$$t_2 = 25 - (25 - (2.3)) * \frac{2.64}{2.97} = 4.4^\circ\text{C}$$

Лето (май, июнь, июль, август, сентябрь):

$$z_3 = 5 \text{ месяцев};$$

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

$$t_3 = 25 - (25 - (14.7)) * \frac{2.64}{2.97} = 15.8^\circ\text{C}$$

По температурам( $t_1, t_2, t_3$ ) для соответствующих периодов года определим по формуле 9 парциальные давления ( $E_1, E_2, E_3$ ) водяного пара:

$$E_1 = 260.8 \text{ Па.}$$

$$E_2 = 855.5 \text{ Па.}$$

$$E_3 = 1776.6 \text{ Па.}$$

Определим парциальное давление водяного пара  $E$ , Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации ограждающей конструкции для соответствующих продолжительностей периодов  $Z_1, Z_2, Z_3$ :

$$E = \frac{260.8 * 5 + 855.5 * 2 + 1776.7 * 5}{12} = 991.5 \text{ Па.}$$

Сопротивление паропроницанию  $R_{п.н.} \text{ м}^2 * \text{ч} * \text{Па/мг.}$ , части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации, определяется по формуле 8.9 [4]:

$$R_{п.н.} = \frac{0.01}{0.03} + \frac{0.032}{0.6} = 0.87 \text{ м}^2 * \text{ч} * \text{Па/мг}$$

Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха  $e_n$ , Па, за годовой период определяется по таблице 7.1 [5], отсюда:

$$e_n = \frac{120 + 140 + 260 + 430 + 670 + 1170 + 1500 + 1320 + 880 + 490 + 250 + 160}{12} = 616 \text{ Па.}$$

По формуле 7 определим нормируемое сопротивление паропроницанию из условия недопустимости накопления влаги за годовой период эксплуатации:

$$R_{n1}^{тр} = (1571 - 991.5) * \frac{0.87}{991.5 - 616} = 1.34 \text{ м}^2 * \text{ч} * \text{Па/мг.}$$

Для расчета нормируемого сопротивления паропроницанию  $R_{n2}^{тр}$  из условия ограничения влаги за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха берем определенную по таблице 5.1 [5] продолжительность этого периода  $z_0 = 151$  суток, среднюю температуру этого периода  $t_{н.отр} = -16^\circ\text{C}$

Температуру  $t_0, ^\circ\text{C}$  в плоскости возможной конденсации для этого периода определяем по пункту 8.10 [4]:

$$t_0 = 25 - (25 - (-16)) * 2.64 / 2.97 = -11.4^\circ\text{C}$$



Парциальное давление водяного пара  $E_0$ , в плоскости возможной конденсации при  $t_0 = 11.4^\circ\text{C}$ , определяют в соответствии с формулой пункта 8.8 [4], отсюда:

$$E_0 = 1.84 * 10^{11} \exp * \left( -\frac{5330}{273 + (-11.4)} \right) = 260.8 \text{ Па.}$$

Предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материалах «Маты минераловатные плотностью  $\rho=75 \text{ кг/м}^3$  и «Сосна и ель поперек волокон» (слой шпунтовых досок в ограждении), согласно таблице 10 [4], имеют показатели равные  $\Delta w_1 = 3\%$  и  $\Delta w_2 = 7.5\%$  соответственно.

По расчету, средняя упругость водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами равняется  $e_{\text{н.отр}} = 186 \text{ Па}$ .

Коэффициент  $\eta$  определяется по формуле 10, в соответствии с пунктом 8.5 [4].

$$\eta = 0.0024 * \frac{(E_0 - e_{\text{н.отр.}}) * z_0}{R_{\text{п.н.}}} \quad (10)$$

Отсюда:

$$\eta = 0.0024 * (260.8 - 186) * \frac{151}{0.87} = 31.2$$

По формуле 8 определим  $R_{\text{n2}}^{\text{TP}}$ :

$$\begin{aligned} R_{\text{n2}}^{\text{TP}} &= 0.0024 * 151(1571 - 260.8) / \left( 75 * \left( \frac{0.05}{2} * 3 + \frac{0.032}{2} * 7.5 \right) \right) + 31.2 \\ &= 10.36 \text{ м}^2 * \text{ч} * \text{Па/мг.} \end{aligned}$$

Таким образом, требуемое условие паропроницаемости не выполняются:

$$R_{\text{n}} = 1.09 < R_{\text{n1}}^{\text{TP}} = 1.34, R_{\text{n}} = 1.09 < R_{\text{n2}}^{\text{TP}} = 10.36.$$

В соответствии с полученным результатом, можно сделать выводы, что данная ограждающая конструкция полностью не удовлетворяет требованиям [2, 4]. Следовательно, возможно выпадение конденсата на границе слоев №2 и №3, что в свою очередь повлечет чрезмерное намокание утеплителя. Однако во время работ по обследованию состояния утеплителя, наличие данного факта не было выявлено, причиной тому, возможно, проведение работ в летний период, когда теплоизолирующий материал успел высохнуть.

Наличие влажности в теплоизолирующем слое недопустимо, для того чтобы добиться сухости утеплителя необходимо соблюдать технологию при создании кровельного пирога. Важно понимать, что переувлажнение теплоизолятора, особенно на основе волокнистых материалов, приводит не только к теплопотерям, но и порчи самого утеплителя: вата, напитавшись влагой, склонна к оседанию, при этом срок ее службы в таком состоянии значительно сокращается [48, 50].

Таким образом, для обеспечения необходимой теплоизоляции подкровельного пространства и недопущения образования дополнительных мостов холода, волокнистый утеплитель должен быть защищен сверху гидроветрозащитной пленкой, а снизу пароизоляцией [32, 76].

## 2.1.2 Расчет количества инфильтрующего воздуха через щели и пустоты ограждающей конструкции кровли.

Обследование состояния утеплителя конструкции кровли мансардного этажа выявило факторы движения инфильтрующего воздуха в толще одного из теплоизолирующих слоев. Следовательно, необходимо рассчитать количество наружного воздуха, поступающего в помещение для выявления фактической значимости данного фактора в тепловых потерях здания.

Согласно [43], расчет расхода наружного воздуха, поступающего в помещения в результате инфильтрации в расчетных условиях, зависит от многих факторов, включая объемно-планировочные решения зданий, плотности окон, дверей и тд. Задача расчета расхода теплоты на инфильтрацию сводится к определению расхода инфильтрационного воздуха через отдельные ограждения каждого помещения. Однако современные нормы проектирования гласят, что инфильтрация через стены и покрытия невелика, поэтому ей принято пренебрегать [43]. Проведенное и описанное выше исследование состояния кровли мансардного этажа, выявило, что при наличии раскрывшихся щелей в ограждающем слое многослойных конструкций, по моему мнению, инфильтрация холодного воздуха может быть существенной.

Цель данного расчета сводится к тому, чтобы высчитать расход инфильтрующегося воздуха, кг/ч через щели и пустоты многослойной конструкции мансардного этажа на один метр квадратный площади данной конструкции.

В соответствии с [4],  $\sum G_i$  – расход инфильтрующего воздуха, кг/ч, проникающего через ограждающие конструкции в помещение, определяется по формуле 11:

$$\sum G_i = 0.216 * \sum A_1 * \left( \frac{\Delta p_i^{0.67}}{R_{inf}} \right) + \sum A_2 * G_h * (\Delta p_i / \Delta p_1)^{0.67} \quad (11)$$

$$+ 3456 \sum A_3 * \Delta p_i^{0.5}$$

где,  $A_1 = 0 \text{ м}^2$  – площадь световых проёмов (окон, балконных дверей, фонарей);

$A_2 = 1 \text{ м}^2$  – площадь стен (без площади световых проёмов);

$A_3 = 0.02 \text{ м}^2$  – площадь щелей и неплотностей в наружных ограждающих конструкциях;

$\Delta P_1$  – расчетная разность давлений на наружной и внутренней поверхности ограждения на уровне пола первого этажа, Па;

$\Delta P_i$  – то же на расчетном этаже, Па;

$R_{inf}$  – сопротивление воздухопроницанию наружных ограждающих конструкций,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ , определяется по формуле 12:

$$R_{inf} = \frac{1}{G_h} * \left( \frac{\Delta p}{\Delta p_0} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (12)$$

$$R_{inf} = \frac{1}{0.5} * \left( \frac{29.23}{8.6} \right)^{\frac{2}{3}} = 4.71 (\text{м}^2 * \text{ч} * \text{Па}) / \text{кг}$$

где  $G_h = 0.5 \text{ кг} / \text{м}^2 \cdot \text{ч}$  – нормируемая поперечная воздухопроницаемость ограждающих конструкций, в соответствии с таблицей 9 [4];

$\Delta P$  – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па. Определяется по формуле 13 в соответствии с [4]:

$$\Delta p = 0.55N * (\gamma_{ext} - \gamma_{int}) + 0.03\gamma_{ext} * V^2 \quad (13)$$

$$\Delta p = 0.55 * 4.5 * (14.99 - 11.58) + 0.03 * 14.99 * 6.8^2 = 29.23 \text{ Па.}$$

где  $\gamma_{ext}$ ,  $\gamma_{int}$  – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха,

Н/м, определяем по формуле 14:

$$\gamma = 3463 / (273 + t) \quad (14)$$

Где,  $t$  – температура воздуха, °С: внутреннего (для определения  $\gamma_{int}$ ) и наружного воздуха наиболее холодных суток, с обеспеченностью 0.98, равная  $-42.0$  °С [5], (для определения  $\gamma_{ext}$ ). Отсюда:

$$\gamma_{int} = \frac{3463}{273 + 26} = 11.58 \text{ Н/м}$$

$$\gamma_{ext} = \frac{3463}{273 + (-42)} = 14.99 \text{ Н/м}$$

Расчетная разность давлений  $\Delta P_i$ , Па, определяется по формуле 15:

$$\Delta p_i = (H - h_i) * (\gamma_{ext} - \gamma_{int}) + 0.5 p_{ext} * V^2 (C_{ep} - C_{ep}) * K_1 - p_{int} \quad (15)$$

$$\Delta p_i = 1.5 * (14.99 - 11.58) + 0.5 * 1.15 * 6.8^2 * (0.8 - 0.6) 0.65 - 0 = 8.6 \text{ Па}$$

где  $H=4.5$  м – высота здания от уровня земли до верха карниза;

$h_i = 6$  м – расчетная высота от уровня земли до верха окон или до середины стеновых панелей; в данном случае это высота до середины кровельной конструкции стены здания.

$\rho_{ext} = 1.515 \text{ кг/м}^3$  – плотность наружного воздуха [4];

$V=6.8 \text{ м/с}$  – скорость ветра, определяемая для холодного периода по параметрам Б, [5];

$C_{e.p.} = 0.8$  – аэродинамический коэффициент для наветренной стороны здания [5];

$C_{e.p.} = -0.6$  – аэродинамический коэффициент для подветренной стороны здания [5];

$K_1 = 0.65$  – коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания [5];

$P_{int}$  – условно постоянное давление воздуха в здании, данным параметром можно пренебречь и принять значение равное нулю [4].

Таким образом, подставив все необходимые значения в формулу 11, получим:

$$\sum G_i = 0 + \sum 1 * 6 * (8.6^{0.67} / 29.23)^{0.67} + 3456 \sum 0.02 * 8.6^{0.5} = 20.285 \text{ кг/ч}$$

При этом, в соответствии с пунктом 7.1 [4] сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций  $R_{inf}$  должно быть не менее нормируемого сопротивления воздухопроницанию  $R_u^{TP}$  ( $\text{м}^2 * \text{ч} * \text{Па}$ )/кг, определяемого по формуле 16:

$$R_u^{TP} = \Delta p / G_h \quad (16)$$

$$R_u^{TP} = 29.23 / 0.5 = 58.46 \text{ (м}^2 * \text{ч} * \text{Па) / кг.}$$

Таким образом, условие сопротивления воздухопроницанию ограждающих конструкций не выполняется:

$R_u^{TP} = 58.46 \text{ (м}^2 * \text{ч} * \text{Па) / кг} > R_{inf} = 4.71 \text{ (м}^2 * \text{ч} * \text{Па) / кг.}$ , данная ограждающая конструкция мансарды не удовлетворяет нормативным требованиям пункта 7.1 [4].

Расчет потоков воздуха на инфильтрацию показал, что на  $1 \text{ м}^2$  площади конструкции кровли мансардного этажа, расход инфильтрующего воздуха через образовавшиеся щели и пустоты может достигать  $20.285 \text{ кг/ч}$ . Не смотря на то, что данное значение является лишь усредненным параметром, так как на движение воздуха влияют многие параметры [43, 60, 26], а ширина раскрытия щелей в конструкции неоднородна, полученное значение слишком велико, о

чем свидетельствуют и результаты обследования состояния кровли. Опираясь на проведенные выше расчеты и фактическое состояние ограждающей конструкции кровли, а так же значения тепловизионной съемки, можно сделать выводы, что данная ограждающая конструкция кровли имеет низкую эффективность и не отвечает требованиям по тепловой надежности [2].

## **2.2 Мониторинг теплопотерь мансардного этажа. Анализ эффективности работы утеплителя.**

Снизить теплопотери объектов недвижимости и повысить эффективность потребления энергии можно, применяя с соблюдением технологии, современные проектные решения по теплоизоляции зданий. При этом, для обеспечения необходимой энергоэффективности проектируемого и (или) строящегося здания, в соответствии с [4, 24], необходима система теплотехнических экспертиз, заключающаяся в подключении специалистов для консультаций как на стадии проектирования, так и уже непосредственно эксплуатации здания [72].

Однако существует массовая проблема среди уже существующих – эксплуатируемых объектов недвижимости. Именно для повышения энергоэффективности и снижения тепловых потерь, а так же повышения надежности тепловой защиты данных объектов, может служить экспертное мнение и рекомендации, основанные на мониторинге теплопотерь исходного объекта недвижимости. Таким образом, основываясь на полученные результаты проведенного исследования, по тому или иному объекту, специалист сможет дать необходимые рекомендации, которые не будут носить общий характер и будут направлены на устранение конкретной проблемы.

При этом повысить теплоизоляционные свойства здания при реконструкции гораздо сложнее, чем в процессе его строительства, поэтому еще на стадии проектирования и согласования проекта необходимо уделять должное внимание характеристикам энергоэффективности здания [81].

Поэтому опыт экспертов в дефектологии теплопотерь, на основе анализа дефектов при тепломониторинге, будет являться решающим по снижению тепловых потерь и повышению надежности тепловой защиты как проектируемых, так и строящихся зданий [72].

Тепломониторинг может иметь множественные вариации [24], наиболее эффективный способ для решения поставленной задачи, на наш взгляд – поиск



мостов холода и утечек тепла с помощью тепловизора с последующим программированием мероприятий по модернизации узлов конструкции в программном комплексе Elcut. Однако наиболее точный результат может быть достигнут, если будут учитываться не только трансмиссионные потери тепла, но так же и инфильтрация холодного воздуха.

После проведенного обследования конструкции кровли мансардного этажа, описанного в пункте 2.1, необходимо было выявить эффективность работы утеплителя и найти возможную закономерность между погодными условиями и интенсивностью общих теплопотерь обследуемого участка здания.

Как и в пункте 2.1, тепломониторинг эффективности работы утеплителя, проводился на том же жилом объекте в г. Абакан республики Хакасия. Данный эксперимент по исследованию теплового контура участка здания включает в себя четыре этапа работы.

Первый этап – визуальный осмотр обследуемого узла здания на предмет выявления дефектов, таких как трещины и щели, строительный брак.

Последующее более тщательное инструментальное исследование при помощи тепловизора для выявления скрытых дефектов конструкции. Тепловизор марки Flir B200, чувствительность – 0.08 °С, с разрешением 200x150 точек.

Тепловизионная съемка участка объекта проводилась как изнутри помещения, так и снаружи, при температуре наружного воздуха  $t_{н.} = -27\text{ °С}, \pm 3\text{ °С}$ . Температура внутри помещения имела постоянное значение  $t_{в.} = +22.0\text{ °С}$ , при влажности воздуха ~55%. Коэффициент излучения поверхности – 0,92. Мониторинг проводился на протяжении месяца.

Как и в случае первого тепловизионного обследования, описанного в пункте 2.1, наиболее сильные утечки тепла были зафиксированы в месте стыка угла наружных стен, ниже расположения бруса-мауэрлата, и в конструкции «кровельного пирога» мансардного этажа, рисунок 11, 12.

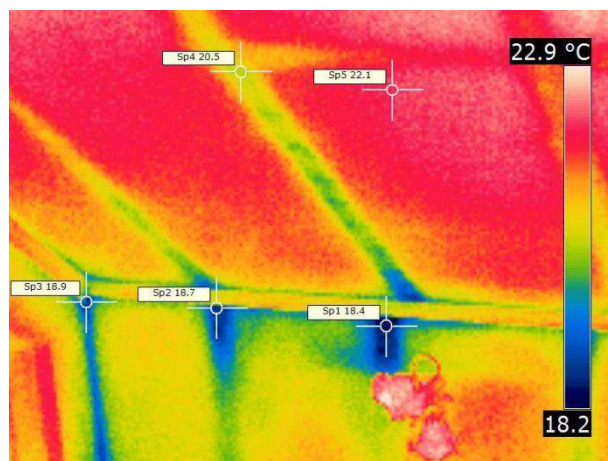
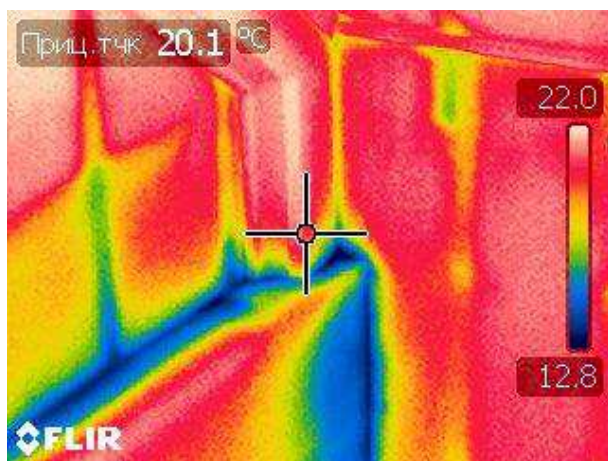


Рисунок 11 – Результаты тепловизионной съемки внутри помещения.

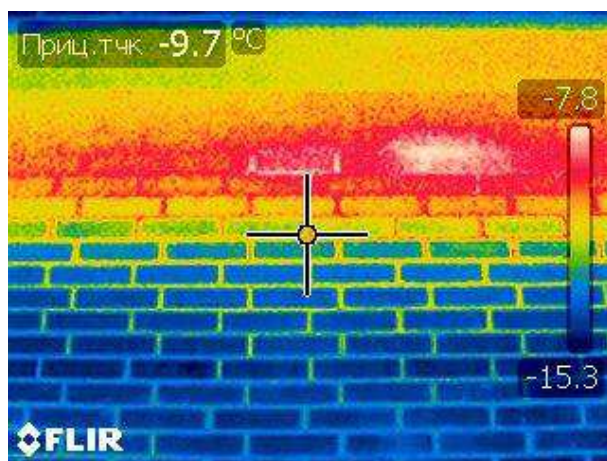
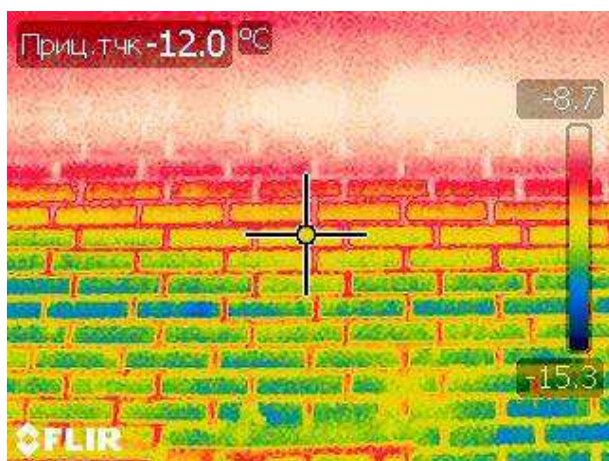


Рисунок 12 – Результат тепловизионной съемки снаружи помещения.

Вторым этапом, основываясь на результаты тепловизионной съемки, было принято решение произвести локальное вскрытие наружной облицовочной версты в месте наиболее заметных утечек тепла. Вскрытие кладки необходимо для определения состояния утеплителя и его эффективности с помощью тепловизионной съемки.

Вскрытие облицовочной версты выявило значительные дефекты в основной конструкции кирпичной стены: дефекты кладки основной стены в виде отсутствия местами раствора, рисунок 13, неоднородность и низкое качество утеплителя, малая толщина утеплителя рисунок 14.



Рисунок 13 – Дефекты в кладке в виде неоднородности раствора и щелей.



Рисунок 14 – Неоднородность и низкое качество теплоизолирующего слоя ограждающей конструкции.

После работ по обнажению теплоизолирующего слоя, производилась повторная тепловизионная съемка, для фиксирования изменений по теплопередаче, рисунок 15. Тепловизионная съемка проводилась при температуре воздуха  $t_{н.} = -13^{\circ}\text{C}, \pm 3^{\circ}\text{C}$ .

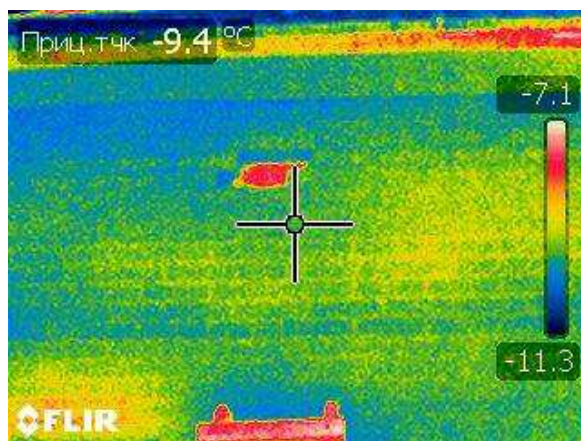


Рисунок 15 – Термограмма участка после вскрытия кладки.

Как видно из рисунка 15, в месте вскрытия наблюдаются значительные перепады температур, что говорит о том, что нагретый в помещении воздух стремится через дефекты основной кирпичной кладки наружу помещения. При этом разница температур холодной поверхности кладки и вскрытой полости составила  $4.2^{\circ}\text{C}$ . После снятия показаний, теплоизоляционный слой из минераловатного утеплителя был удален, полностью обнажив при этом кирпичную кладку основной стены.

Третий этап основан на тепловизионном мониторинге данного участка: проводилась фиксация показаний тепловизора до и после утепления, при разных погодных условиях.

При температуре наружного воздуха  $t_{\text{н.}} = -22^{\circ}\text{C}, \pm 3^{\circ}\text{C}$ ., и отсутствующем ветре показания тепловизора имели следующие значения: рисунок 16, 17. Разница температур поверхности кладки облицовочной версты и вскрытой полости составила  $7.4^{\circ}\text{C}$ . Значения «холодных» показаний угла внутри помещения составили разницу на  $2.5^{\circ}\text{C}$  меньше, чем первоначальные показатели, рисунок 11.

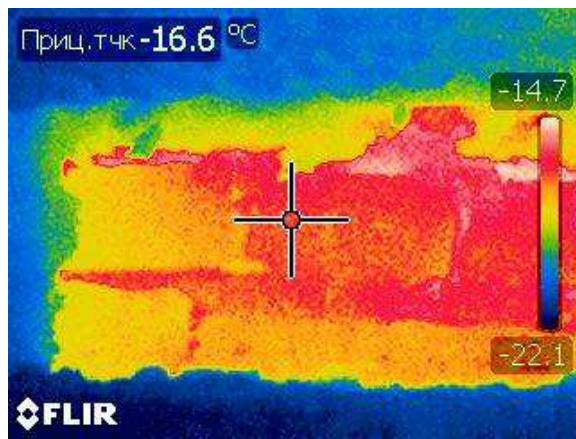


Рисунок 16 – Термограмма вскрытой полости кладки без утеплителя.



Рисунок 17 – Термограмма узла внутри помещения.

При температуре наружного воздуха  $t_{н.} = -30^{\circ}\text{C}, \pm 3^{\circ}\text{C}$ ., тепловизионная съемка зафиксировала бóльшие теплопотери на наблюдаемом участке. При этом значения температуры обнаженной кладки стены с температурой основной поверхности, составили разницу  $+16.1^{\circ}\text{C}$ . Значения внутренней поверхности угла составили разницу  $6.1^{\circ}\text{C}$ ., по сравнению с первоначальным показателем. Результаты тепловизионной съемки представлены на рисунках 18,19.

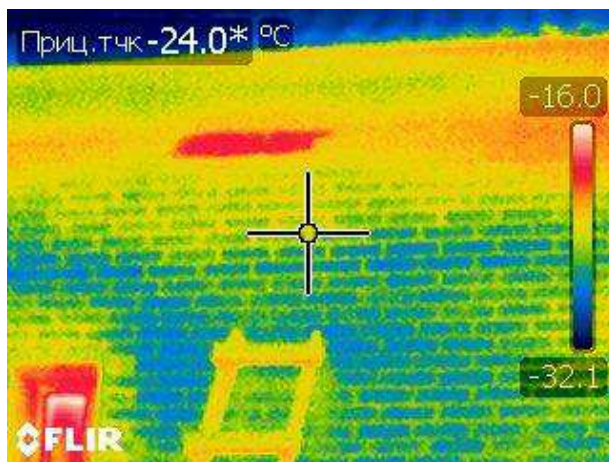


Рисунок 18 – Термограмма наружной поверхности при  $t_{н.}=-30^{\circ}\text{C}$ .

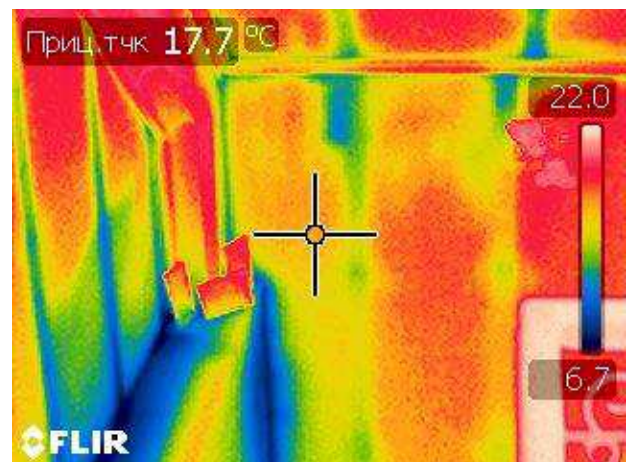


Рисунок 19 – Термограмма внутренней поверхности узла при  $t_{н.}=-30^{\circ}\text{C}$ .

После незначительного повышения температуры наружного воздуха,  $t_{н.} = -25^{\circ}\text{C}, \pm 3^{\circ}\text{C}$ ., зафиксированные показания тепловизора практически не

изменились относительно показаний при температуре наружного воздуха  $t_{н.} = -30^{\circ}\text{C}, \pm 3^{\circ}\text{C}$ . Следовательно, потери тепла через вскрытую полость и общие теплопотери мансардного этажа практически выровняли температуру всей поверхности стен мансардного этажа. Результаты тепловизионной съемки при  $t_{н.} = -25^{\circ}\text{C}, \pm 3^{\circ}\text{C}$  представлены на рисунках 20, 21.

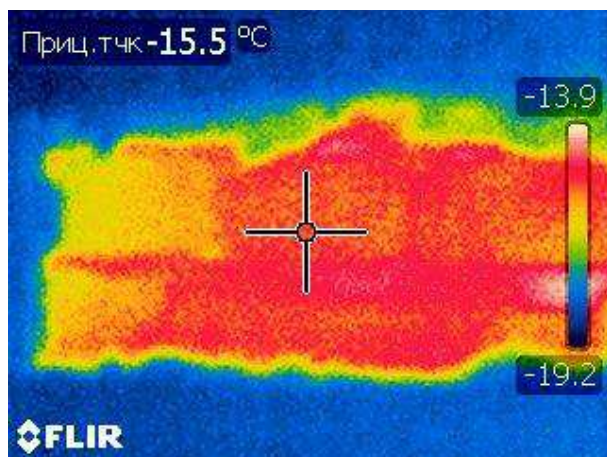


Рисунок 20 – Термограмма вскрытой полости при  $t_{н.} = -25^{\circ}\text{C}$ .

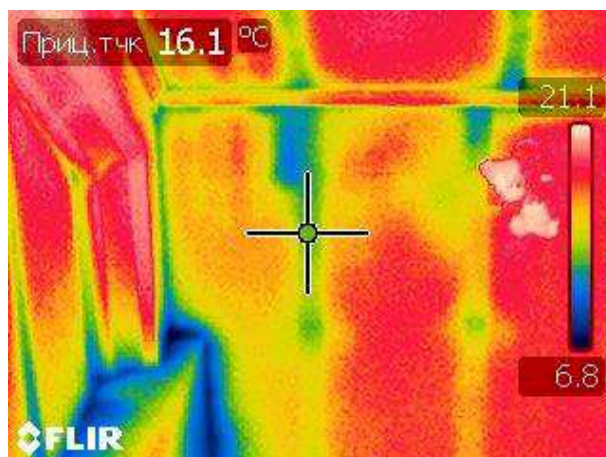


Рисунок 21 – Термограмма внутренней поверхности узла при  $t_{н.} = -25^{\circ}\text{C}$ .

После того как вскрытая полость была утеплена новым теплоизолирующим минераловатным утеплителем на основе кварца «Isover», проводилась повторная тепловизионная съёмка для фиксации возможных изменений. Снятие показаний тепловизора после работ по утеплению проводилось при температуре наружного воздуха  $t_{н.} = -22^{\circ}\text{C}, \pm 3^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности воздуха  $\sim 63\%$ . После восстановления теплоизолирующего слоя показания тепловизора практически остались на прежнем уровне. При этом разница температур поверхности кладки и утепленной полости составила  $5^{\circ}\text{C}$ , а температура поверхности угла мансарды имеет разницу  $1.7^{\circ}\text{C}$  по сравнению с первоначальными результатами. Термограммы поверхностей узла мансарды после работ по утеплению представлены на рисунках 22, 23.

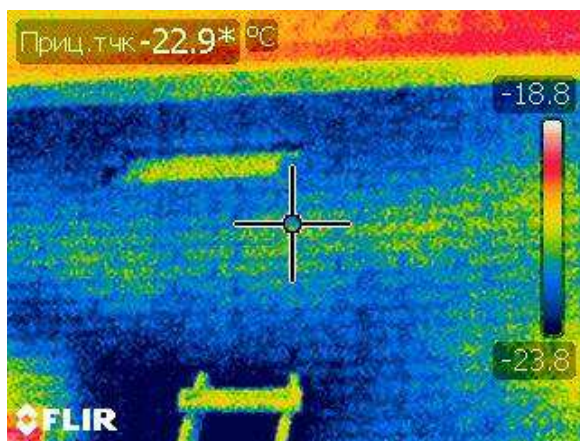


Рисунок 22 – Термограмма наружной поверхности после утепления при  $t_n = -22^\circ\text{C}$ .



Рисунок 23 – Термограмма внутренней поверхности при  $t_n = -22^\circ\text{C}$  после утепления.

После снятий показаний при разных температурах наружного воздуха, необходимо было выявить, как изменятся показания теплотерь при ветреной погоде. Как известно, теплотери во время ветра почти всегда выше, так как воздействие ветра выдувает тепло из помещения через всевозможные щели и неплотности в ограждающих конструкциях. Об этом свидетельствуют и пылевые отложения в толще утеплителя, обнаруженные при обследовании кровельного пирога мансарды, рисунок 5. Так же во время ветра, процессу инфильтрации способствует обратное ее значение – эксфильтрация, так называемый экономайзерный эффект – разность давления наружного воздуха, превышающее давление внутреннего, в помещении. При этом процесс «выноса тепла» из помещения будет усиливаться с наветренной стороны здания [17], а обнаруженные в процессе вскрытия щели и пустоты в основной кладке несущей стены, рисунок 13, способны усилить эффект проникновения воздуха через ограждающую конструкцию.

Именно для выявления факторов и характера теплотерь важно было снять показания тепловизора в ветреную погоду. Тепловизионная съемка проводилась при  $t_n \approx -12 \div 14^\circ\text{C}$  и скорости ветра 16-18 м/с. Показания тепловизора представлены на рисунках 24, 25.

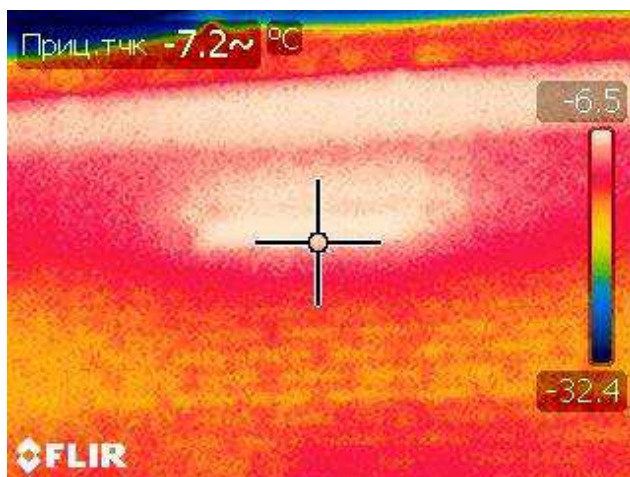


Рисунок 24 – Термограмма наружной поверхности узла во время ветра.

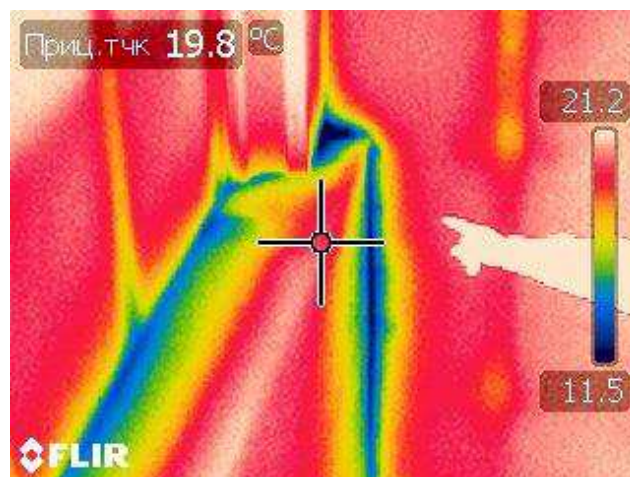


Рисунок 25 – Термограмма внутренней поверхности узла во время ветра.

Как видно из рисунка 24, во время ветра даже более толстый слой утеплителя чем в основной конструкции стены, уложенный в вскрытую полость не способен удержать значительные теплопотери. При этом во время ветра движение теплого воздуха происходит практически по всей поверхности ограждающей конструкции. Данное явление говорит о низком качестве и недостаточном слое утеплителя по всей площади стены.

Заключительным этапом данного эксперимента является анализ результатов проведенного исследования.

Проведенный эксперимент выявил ряд конструктивных недостатков мансардного этажа с позиции энерго и теплосбережения. Тепловизионное обследование с послойным вскрытием теплоизоляции выявило, что увеличение числа слоев теплоизоляции не влияет должным образом на качество теплозащиты объекта недвижимости. Данный эксперимент подтвердил исследования «НИИМосстрой», которые выявили, что однослойное и многослойное утепление, применяемое в наружных ограждениях, равнозначны по своей эффективности [37].

Таким образом, проведенное исследование выявило новые предположения о природе тепловлагоденоса в многослойных конструкциях и предположение о конденсации холодного воздуха на теплой поверхности



теплоизоляции. При этом выявленные дефекты могут быть положены в основу классификации дефектов мансардного этажа, ранжирования и, в дальнейшем, их устранения с целью снижения тепловпотерь объектов недвижимости [75].

### 2.3 Выводы по главе 2.

1) Проведено обследование теплой кровли мансардного этажа, которое выявило существенные недостатки конструкции и технологии ее устройства, влияющие на обеспечение необходимой теплоизоляции помещения.

2) Произведен теплотехнический расчет конструкции, который подтвердил что данная конструкция «кровельного пирога» обследуемого объекта не удовлетворяет нормативным требованиям по теплопередаче при существующих климатических условиях [2, 4, 5]. При этом расчет на паропроницаемость конструкции выявил возможное выпадение точки росы в толще теплоизолирующего слоя из минераловатного утеплителя, что является недопустимым для данного материала.

3) Выполнен расчет количества инфильтрующего воздуха через ограждающую конструкцию. В результате расчета выявлено, что через щели и неплотности ограждающей конструкции проходит значительное количество холодного воздуха в помещение, на нагрев которого требуются дополнительные энергозатраты. При этом условие сопротивления воздухопроницанию ограждающей конструкции не выполняется, что в соответствии с [4] является низким показателем качества применяемой ограждающей конструкции.

4) Экспериментальным путем выявлена эффективность работы утеплителя в краевой зоне мансардного этажа, получен характер теплопотерь, зависящий от качества укладки и количества теплоизолирующего слоя ограждающей конструкции при разных погодных условиях.

5) Для дальнейших исследований многослойной конструкции кровельного пирога, необходимо провести вскрытие кровельного покрытия (шифер), для освидетельствования состояния теплоизоляции «Пеноизол» и внутренней поверхности шифера.

### **ГЛАВА 3. КЛАССИФИКАЦИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ НЕДОСТАТКОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТИПОЛОГИИ ДЕФЕКТОВ В УЗЛАХ МАНСАРДНЫХ ЭТАЖЕЙ.**

Мансардный этаж имеет в своей конструкции различное количество архитектурных узлов, решение устройства которых требует оптимального баланса конструктивной и теплотехнической надежности. При создании типологии дефектов, кроме выявленных во время обследования мостов холода и наглядного их представления на чертеже, с демонстрацией движения температурных потоков, необходимо смоделировать тепловой контур различных узлов конструкции в программном комплексе ELCUT, для выявления и прогнозирования промерзания и движения температурных полей при более низких, нормативных, температурах наружного воздуха в соответствии с [5].

Метод моделирования один из наиболее рациональных, удобен и доступен для прогнозирования поведения конструкций еще на стадии проектирования. Преимуществом этого метода является также возможность обобщения опытов, распространение полученных результатов не только на один моделируемый образец, но и на целую группу явлений, устройств, подобных моделируемому образцу и воспроизводимых в разных масштабах [67].

Метод моделирования может быть применен на моделях проектируемых сооружений для выбора оптимального проектного решения. Это дает возможность своевременно внести в проект коррективы, что обеспечит наиболее оптимальный вариант для потенциального заказчика.

### **3.1 Область применения, возможности и построение задачи в программном комплексе ELCUT.**

ELCUT – программа моделирования двумерных и трехмерных полей методом конечных элементов. В основе программного комплекса лежат две главные идеи: дискретизация исследуемого объекта на конечное множество элементов и кусочно-элементная аппроксимация исследуемых функций [30, 53].

Программа позволяет рассчитывать поля электрической, магнитной, температурной природы, механические упругие напряжения и деформации, а также решает задачи, описываемые уравнениями Лапласа, Пуассона и диффузии в плоскопараллельной и осесимметричной расчетной области произвольной формы.

При расчете узлов и проектировании оптимального способа усиления теплотехнических параметров ограждающих конструкций мансарды, будет использован программный модуль по расчету стационарной и нестационарной теплопередаче [30].

Модуль «теплопередача» может быть использован для анализа и проектирования теплового состояния различных систем. При этом можно вычислять установившееся распределение температуры и процессы нагрева и охлаждения.

Возможности модуля «теплопередача»:

- Нелинейные или анизотропные свойства;
- Распределенные, линейные и точечные источники тепла;
- Источники тепла в зависимости от температуры;
- Источники тепла, как результат электрических потерь;
- Задание температур и потоков тепла на границах;
- Граничные условия с теплоотводом конвекцией или излучением;

- Результаты решения: температура, тепловой поток, градиент температуры, суммарные тепловые потери в любой области, и т.д. [58].

При создании геометрической модели, конфигурация задачи определяется набором так называемых подобластей, представляющих собой одно– и многосвязные криволинейные многоугольники в плоскости модели, не пересекающиеся между собой по границе. Каждой подобласти приписывается определенный набор ее физических свойств. В пакете используются термины блок для полигональной подобласти, ребро для отрезков и дуг окружностей, образующих границы блоков и вершина для концов рёбер и изолированных точек. Рёбра, отделяют расчетную область от остальной части плоскости, составляя внешнюю границу расчетной области. Все остальные рёбра являются внутренними границами объекта.

Создание геометрической модели в программном комплексе и последующий ее расчет происходит в основном в пять этапов:

- Построение геометрических объектов или их импортирование из периферийных CAD систем;
- Задание свойств, источников поля и граничных условий объекта;
- Построение сетки конечных элементов;
- Расчет задачи;
- Просмотр и анализ результатов расчета.

После завершения создания геометрической модели и присвоения ей всех необходимых физических свойств, производится решение задачи и получение картины поля.

Для анализа результатов расчета, программный комплекс ELCUT предоставляет решение задачи в виде картины поля с возможностью вывода факторов таких как:

- локальные полевые значения;
- интегральные величины;
- графики и таблицы в пространстве;
- графики и таблицы во времени;
- экспорт таблиц, картинок и всего конечно-элементного решения в другие программы и т.д.

## **3.2 Дефекты в узлах мансардного этажа. Численное моделирование теплового контура в программном комплексе ELCUT.**

### **3.2.1 Карнизный узел и кровельный пирог мансардного этажа.**

Одной из основных проблем, имеющей свое начало еще на стадии строительства дома, является то, что потенциальный застройщик не обращает внимания на то, что мансардная крыша – это не совсем обычная конструкция, которая должна выполнять не только функции крыши, но и располагать к комфортной жизни в помещении. Чтобы выполнялись оба условия, необходимо понимать суть конструкции, а так же нюансы процессов ее монтажа.

Одним из таких нюансов является устройство карнизного узла здания. Как и на рассматриваемом объекте, основная проблема кроется в сопряжении основной стены остова здания с брусом-мауэрлатом и правильным устройством стропильных ног крыши. Чаще всего брус-мауэрлат укладывается по контуру здания, без каких либо дополнительных мероприятий по его надежному креплению к стене и недопущению образования под ним щелей, в результате усушки материала или передающихся на него напряжений от вышележащих конструкций кровли.

На рисунке 26 показаны выявленные дефекты, и вероятное проникновение холодного воздуха в толщу ограждающей конструкции мансардного этажа рассматриваемого объекта через мостики холода, возникшие в результате неправильного устройства конструкции кровли и напряжений в процессе эксплуатации здания.

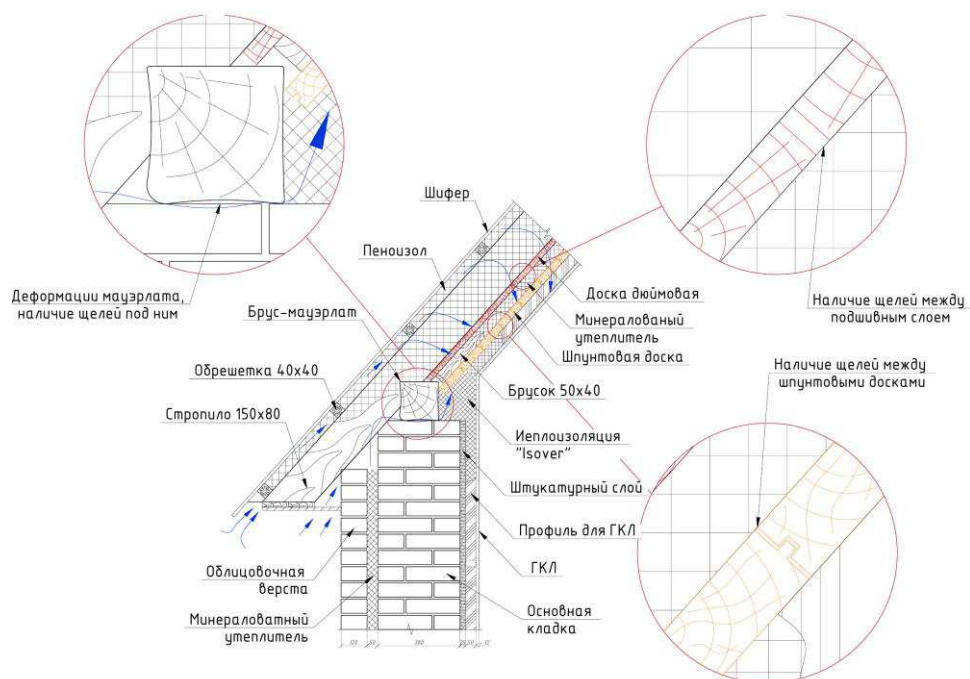
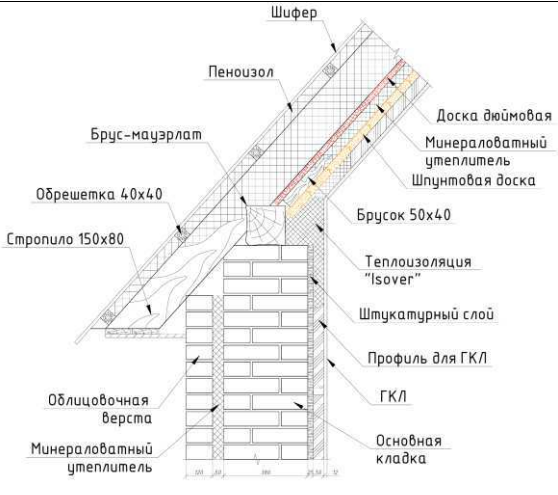
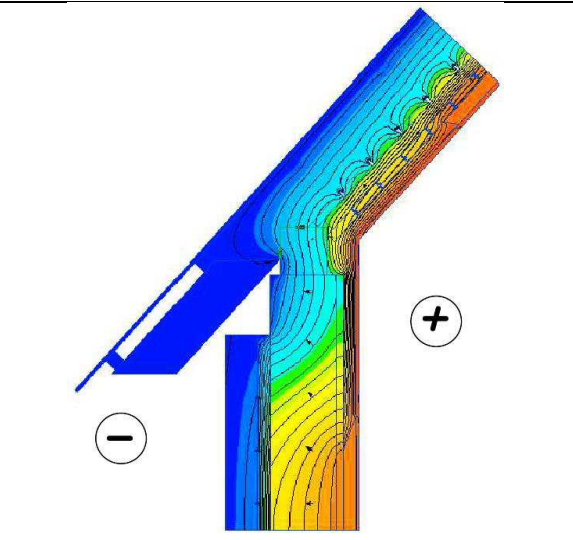


Рисунок 26 – Дефекты карнизного узла.

Как видно из рисунка 26, холодные потоки воздуха проникают сквозь выявленные характерные дефекты, такие как щели и зазоры между брусом-мауэрлатом, подшивным слоем из дюймовой и шпунтованной доски, трещины в утеплителе «Пеноизол» и далее стремятся внутрь помещения, охлаждая при этом поверхность теплоизоляции. При этом из-за отсутствия пароизоляции, теплый и влагонасыщенный воздух, из помещения, попадая на охлажденную поверхность, образует конденсат тем самым увлажняя теплоизоляционный слой.

Таблица 4 – Результаты расчета узла 1: конструкция карнизного узла теплой кровли.

Температура наружного воздуха $t_{н.} = -37^{\circ}\text{C}$ ;			
Температура воздуха внутри помещения $t_{в.} = +22^{\circ}\text{C}$ ;			
Конструкция узла		Температурное поле	
			
Теплотехнические характеристики материалов по направлению от внутреннего контура.			
Наименование слоя	Толщина слоя, мм	Тепловой поток, Вт.	Средняя температура поверхности $T_s, ^{\circ}\text{C}$ .
ГКЛ	12	39.08	20.28
«Isover стандарт»	50	18.36	9.64
Доска шпунтовая	36	11.72	8.55
Минераловатный утеплитель	50	10.98	2.03
Доска дюймовая	25	11.44	-12.03
«Пеноизол»	~150	3.32	-18.42
Штукатурный слой	25	30.97	-0.31
Теплотехнические характеристики материалов по направлению от внешнего контура.			
Шифер	6	3.48	-36.89
«Пеноизол»	~150	3.47	-34.36
Кладка облицовочная	125	14.57	-36.14
Минераловатный утеплитель	50	14.73	-30.25
Кладка стены	380	27.98	-15.16
Брус-мауэрлат	180	1.50	-27.25



По результатам расчета в программном комплексе Elcut professional, при более низких, нормативных, температурах наружного воздуха в соответствии с [5], можно сделать выводы, что даже без учета имеющихся трещин и пустот в материале теплоизоляции кровли «Пеноизол», наибольшая разница температур выявлена именно в этом слое. Однако мостом холода в данном узле выступает и расположение бруса-мауэрлата, так как в данном месте наиболее узкая часть ограждающей поверхности и нет достаточного теплоизоляционного слоя: по расчету видно, как изотермы в этом месте меняют свое поведение и начинают изгибаться, таблица 4. Однако первоначальная гипотеза о наибольшем проникновении инфильтрационных потоков воздуха через щели под брусом-мауэрлатом не оправдалась, поскольку выявленные в процессе тепломониторинга результаты доказали, что преобладание потоков холодного воздуха идет через дефекты теплоизоляционного слоя ограждающей конструкции стены.

#### **Рекомендации по устранению/недопущению выявленных дефектов**

Чтобы решить выявленные конструкционные недостатки и предотвратить, или уменьшить, действие инфильтрации и эксфильтрации в данном узле, необходимо комплексное решение с максимальным переустройством конструкции мансардной кровли рассматриваемого объекта, с заменой теплоизолирующего слоя «Пеноизол» на минераловатный, с обеспечением необходимого вентиляционного зазора. Так же необходимо устранить образовавшиеся зазоры между настилами из досок либо заменить дощатые настилы в пользу древесно-плитных материалов, добавить пароизоляционный слой между финишной отделкой и внутренней теплоизоляцией, для снижения эффекта эксфильтрации [49].

Для предотвращения образования выше описанных дефектов и снижения вероятности образования мостов холода, на стадии строительства теплой кровли, необходимо комплексное решение конструкции данного узла, при этом конструкция должна соответствовать нормам [3].

При устройстве бруса-мауэрлата на остов здания, для его надежного закрепления с несущими стенами, следует использовать металлические шпильки, которые имеют жесткую связь с армопоясом, при этом между брусом мауэрлатом и основной стеной необходимо проложить не только гидроизоляционный слой, но и теплоизоляционный. Применение данного решения, по сравнению с традиционной обвязкой металлической проволокой или использованием анкерных пластин, имеет несколько плюсов: на завершающей стадии устройства кровли и нагружением ее гидроизоляционными материалами, наличие шпилек позволяет притянуть брус-мауэрлат, тем самым снижая вероятность образования между ним и стеной щелей. Так же данное решение обеспечивает повышенную надежность конструкции, при этом шпильки, расположенные в теле материала, выступают меньшим источником проникновения холодного воздуха, нежели проволока или анкерная пластина.

Карнизный узел мансардного этажа требует не только качественного закрепления бруса-мауэрлата, но и грамотного закрепления стропильных ног крыши. Как показывает практика, большой процент домов имеет ошибки в узле опирания стропил на брус-мауэрлат. При возведении мансардной крыши наиболее рациональным будет жесткое закрепление стропильных ног, с их запиливаем под мауэрлат и укреплением опорным бруском или шпонкой. Жесткое крепление стропил обеспечит неподвижность системы, а следовательно и уменьшит деформации всей конструкции кровли. Отсутствие деформаций кровли не только снизит вероятность возникновения каких-либо щелей в ограждающих конструкциях мансарды, но и не изменит направление и действие нагрузки на опорные стены, что является немаловажным значением при возведении несущих стен из каменных материалов.

Для комфортного пребывания людей в помещении, необходима качественная теплоизоляция мансарды и качественное устройство «кровельного пирога». При утеплении мансарды необходимо четкое следование технологии «послойной» теплоизоляции, а так же необходимо

использовать пароизоляционную плёнку и гидро-ветрозащитную мембрану для того, чтобы исключить попадание в теплоизоляционные материалы водяных паров изнутри помещения и атмосферных осадков снаружи. Наиболее приемлемым решением теплоизоляции мансарды будут являться технологические решения ведущих производителей тепло и гидроизоляционных материалов, таких как «ТехноНИКОЛЬ» и «ROCKWOOL» [57, 38].

### 3.2.2 Перекрытие мансардного этажа, коньковый узел.

Конструкция крыши мансардного этажа имеет две наиболее распространенных конфигурации: когда используется все подкровельное пространство, чаще всего двускатная крыша, и, когда сооружается дополнительный каркас в подкровельном пространстве для придания правильных форм помещению – двускатная ломанная, либо вальмовая крыша[61]. На рисунке 27 представлены схемы наиболее распространенных и применяемых типов каркаса мансардного этажа при частном домостроении.

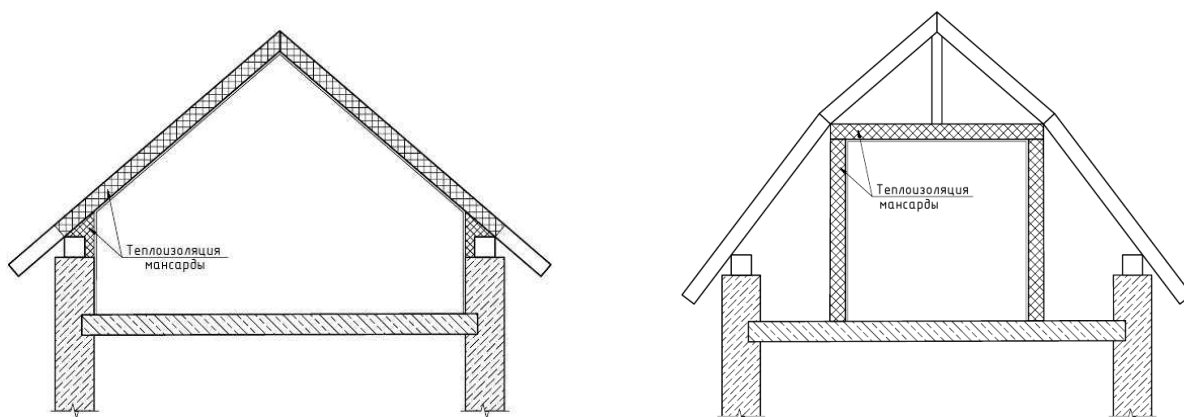


Рисунок 27 – Схема основных типов каркаса мансардного этажа.

Принципиальная схема конструкции мансардного этажа рассматриваемого объекта представляет собой комбинированный вариант рассмотренных выше двух типов. Часть помещения мансардного этажа представляет собой деревянный «сруб» из бруса 100x180, а часть выполнена в виде деревянного каркаса, стены которого защищены досками с

теплоизоляционным материалом «Пеноизол» между ними. Стены мансардного помещения оштукатурены с наружной стороны глиняной штукатуркой по дранке, теплоизоляция брусовой стены отсутствует.

Перекрытие мансардного этажа выполнено по деревянным балкам сплоченных из плах 180x50, шаг балок соответствует шагу стропильных ног в плоскости кровли. Теплоизоляция перекрытия выполнена из минераловатных материалов «Isover standart» по глиняной засыпке.

Чертеж конструкции и результаты расчета узла перекрытия и стыка перекрытия со стеной мансарды, представлены в таблицах 5, 6.

Таблица 5 – Результаты расчета узла 2: перекрытие мансардного этажа.

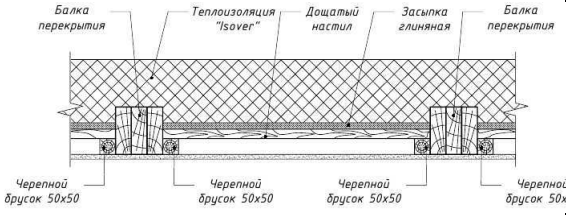
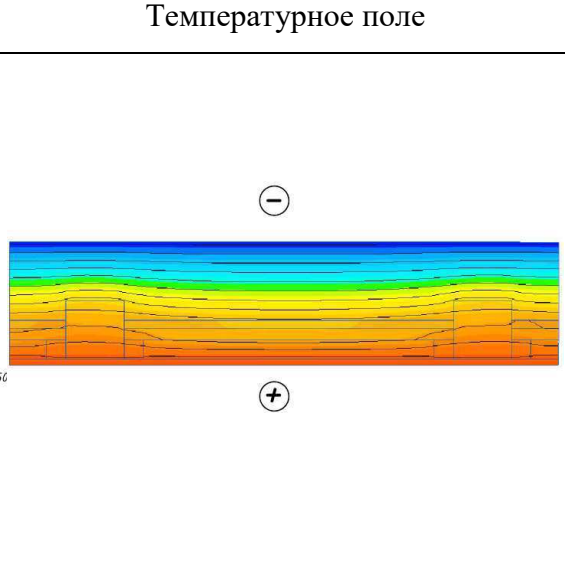
Температура наружного воздуха $t_{н.} = -37^{\circ}\text{C}$ ;			
Температура воздуха внутри помещения $t_{в.} = +22^{\circ}\text{C}$ ;			
Конструкция узла		Температурное поле	
			
Теплотехнические характеристики материалов по направлению от внутреннего контура.			
Наименование слоя	Толщина слоя, мм	Тепловой поток, Вт.	Средняя температура поверхности $T_s, ^{\circ}\text{C}$ .
ГКЛ	12	12.04	22.03
Дощатый настил	30	6.48	8.17
Глиняная засыпка	20	6.75	6.61
Теплотехнические характеристики материалов по направлению от внешнего контура.			
Теплоизоляция Isover	200	12.34	-34.58
Глиняная засыпка	20	6.50	6.52

Таблица 6 – Результаты расчета узла 3: стык перекрытия со стеной мансардного этажа.

Температура наружного воздуха $t_{н.} = -37^{\circ}\text{C}$ ;			
Температура воздуха внутри помещения $t_{в.} = +22^{\circ}\text{C}$ ;			
Конструкция узла		Температурное поле	
Теплотехнические характеристики материалов по направлению от внутреннего контура.			
Наименование слоя	Толщина слоя, мм	Тепловой поток, Вт.	Средняя температура поверхности $T_s, ^{\circ}\text{C}$ .
ГКЛ	12	49.82	20.03
Балка перекрытия	180	16.21	15.27
Теплоизоляция «Isover»	150	11.67	0.57
Брус сосновый	100	34.32	12.94
Теплотехнические характеристики материалов по направлению от внешнего контура.			
Теплоизоляция «Isover»	150	9.6	-36.55
Балка перекрытия	180	15.33	-3.89
Штукатурный слой	25	33.83	-35.17
Брус сосновый	100	33.78	-33.85

Расчет стационарного теплопереноса в программном комплексе Elcut professional выявил, что теплоизоляция перекрытия мансарды удовлетворяет требованиям по теплопередаче, мосты холода не выявлены. Однако, отсутствие

в конструкции пароизоляционного слоя может неблагоприятно сказываться на состоянии утеплителя из минераловатных материалов. Так же уязвимым местом может служить деревянная балка перекрытия, сплоченная из трех отрезков досок, однако толщина теплоизоляционного слоя в 200-250 мм снижает вероятность инфильтрационных потоков холодного воздуха через возможные образования щелей данной конструкции.

Расчет стыка перекрытия с деревянной стеной мансарды, таблица 6, показал, что, как и в других случаях, стык конструкций наиболее подвержен образованию мостов холода. При этом наиболее выраженные показания значений низких температур наблюдаются в месте сопряжения балки перекрытия и стропильной ноги. В ходе расчета так же выявлено, что толщины ограждающей конструкции мансарды из деревянного сруба брусом 100x180 не достаточно для обеспечения удовлетворяющих условий по теплоизоляции помещения, необходимо устройство теплоизоляционных материалов с внешней стороны стены.

В процессе исследования устройства кровли, так же были выявлены конструкционные недостатки в устройстве стропильных ног. В частности стык стропильных ног смежных уклонов выполнен внахлест, на гвоздях. Данное соединение не может обеспечить жесткости всей конструкции в поперечном направлении при действии ветровой нагрузки. Шарнирное соединение стропильных ног в коньковой части способно вызывать чрезмерные деформации во время действия на них давления ветра. Такие перемещения каркаса могут образовывать деформационные щели и пустоты в местах стыка стропильных ног и балок перекрытия, нарушая при этом целостность всей конструкции.

#### **Рекомендации по устранению/недопущению выявленных дефектов**

Для обеспечения жесткости конькового узла и предотвращения перемещений всей конструкции, необходимо обеспечить жесткое соединение стропильных ног в коньковой части кровли. Наиболее рациональным в данном

случае решением будет являться устройство в коньке кровли деревянной затяжки, которая обеспечит жесткость кровли в поперечном направлении.

Для недопущения промерзания стенового ограждения, выполненного из бруса 100x150, необходимо предусмотреть его теплоизоляцию, с подбором толщины утеплителя согласно расчету по действующим нормам [4].

### 3.2.3 Узел сопряжения наружных стен мансардного этажа.

При возведении мансардного этажа, для увеличения пространства и полезной площади, а так же сохранения необходимых условий по высоте потолков, в соответствии с требованиями [3], существуют варианты, когда внешние несущие стены возвышают над перекрытием первого этажа на рекомендуемую пропорцию высоты к площади –  $\frac{1}{2}$  [61], тем самым получая более благоприятные условия для пребывания людей.

Как правило, материал и конструкция таких стен полностью аналогична материалу стен всего здания, такой прием является и наиболее рациональным. Однако существуют варианты, когда конструкция несущих стен мансарды выполняется из других, более легких, материалов, либо используется каркасное строение. Применение разнородных материалов не всегда целесообразно, поскольку разные материалы требуют более тщательного сопряжения, а в процессе эксплуатации здания, разнородные материалы будут иметь разную степень усадки, что может привести к деформациям конструкции.

Применение данного варианта устройства мансардного этажа в свою очередь требует тщательного подхода к теплоизоляции не только самой кровли, но и стен здания. При недостаточной теплоизоляции несущих стен, именно в этом узле будет повышенная концентрация проникающего холодного воздуха, а теплофизические процессы, возникающие на границах тепловых потоков, могут привести к нарушению целостности всей ограждающей конструкции.

Ограждающая конструкция стен мансардного этажа рассматриваемого объекта имеет в разных уровнях разную структуру: в уровне пола и лестничного марша материал стен – кирпич, выше – брус сечением 200x200.

Расчет стационарного теплопереноса, выполненный на основе конструктивных данных обследуемого объекта, выявил значительные теплопотери в местах стыка наружных стен, а так же в местах сопряжений разнородных материалов ограждающих конструкций, результаты расчета представлены в таблицах 7, 8.



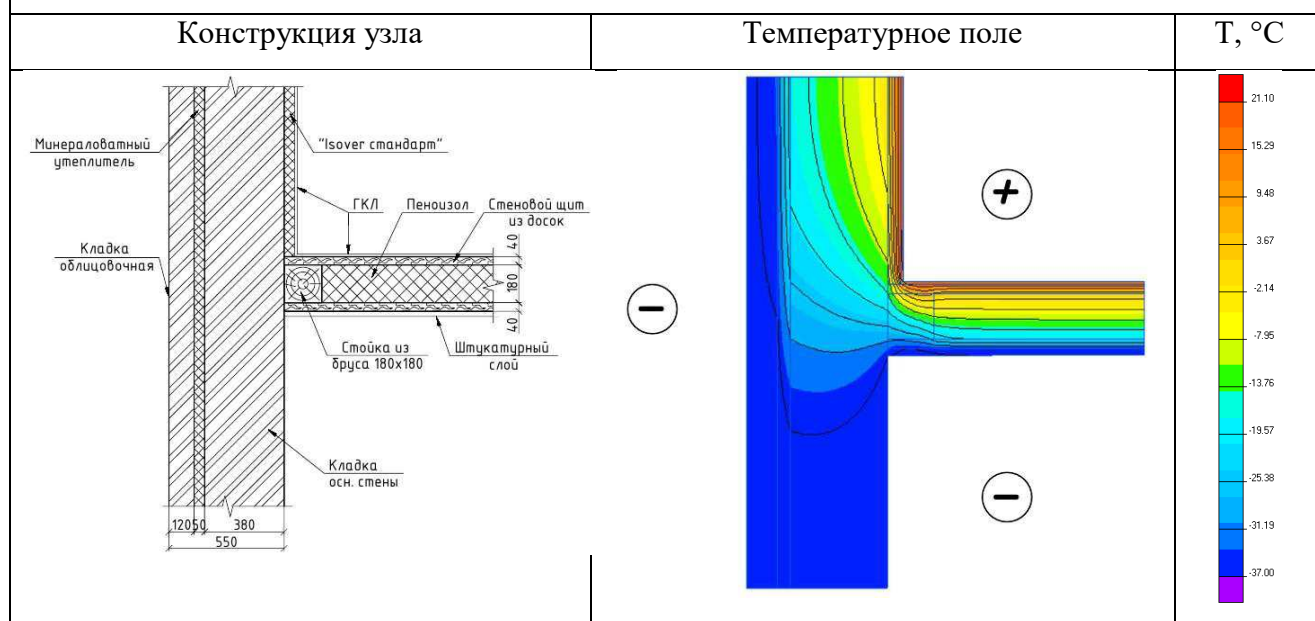
Таблица 7 – Результаты расчета узла 3: конструкция стыка кирпичных наружных стен мансарды.

Температура наружного воздуха $t_{н.} = -37^{\circ}\text{C}$ ;			
Температура воздуха внутри помещения $t_{в.} = +22^{\circ}\text{C}$ ;			
Конструкция узла		Температурное поле	
Теплотехнические характеристики материалов по направлению от внутреннего контура.			
Наименование слоя	Толщина слоя, мм	Тепловой поток, Вт.	Средняя температура поверхности $T_s, ^{\circ}\text{C}$ .
ГКЛ	12	101.07	16.29
«Isover стандарт»	50	16.23	13.61
Кладка стены	380	101.53	0.64
Теплотехнические характеристики материалов по направлению от внешнего контура.			
Кладка облицовочная	125	15.82	-36.66
Минераловатный утеплитель	50	15.82	-30.65
Кладка стены	380	15.81	-25.61

Таблица 8 – Результаты расчета узла 4: конструкция стыка наружных стен мансарды из разнородных материалов.

Температура наружного воздуха  $t_{н.} = -37^{\circ}\text{C}$ ;

Температура воздуха внутри помещения  $t_{в.} = +22^{\circ}\text{C}$ ;



Теплотехнические характеристики материалов по направлению от внутреннего контура.

Наименование слоя	Толщина слоя, мм	Тепловой поток, Вт.	Средняя температура поверхности $T_s, ^{\circ}\text{C}$ .
ГКЛ	12	48.95	19.75
«Isover стандарт»	50	15.44	14.33
Кладка стены	380	15.84	-6.77
Стеновой щит из досок	40	33.88	10.95
Пеноизол	180	29.42	1.39

Теплотехнические характеристики материалов по направлению от внешнего контура.

Кладка облицовочная	125	12.53	-36.73
Минераловатный утеплитель	50	12.53	-35.47
Кладка стены	380	12.54	18.29
Штукатурный слой	25	32.48	-35.50
Стеновой щит из досок	40	31.59	-29.66
Пеноизол	180	28.82	-18.83

Анализируя результаты расчета узла 3, можно сделать вывод, что толщины теплоизоляции наружной стены в 50 мм. недостаточно, температура поверхности несущей стены по внутреннему контуру составила  $-7.41^{\circ}\text{C}$ , что является недопустимым.

Однако на практике показатели могут быть еще хуже, так как обнаруженные ранее дефекты теплоизоляции, рисунок 14, могут способствовать выносу тепла из помещения.

Картина теплового поля узла 4 имеет практически идентичный характер показателей с узлом 3: наибольшие теплотери возникают именно в месте стыка наружных стен. Промерзание стыка возможно и по причине низкой плотности сопрягаемых деталей конструкции, так как на практике обеспечить плотное прилегание бруса к кирпичной стене очень трудно. Однако показатели температурного поля деревянной стены из-за лучших характеристик материалов по теплопроводности, узел 4, имеют положительные показатели по сравнению со значениями температур поверхностей узла 3.

#### **Рекомендации по устранению/недопущению выявленных дефектов.**

Для решения по устранению дефектов в узле сопряжения наружных стен здания, необходима комплексная система мер, заключающаяся в полной переработке теплоизоляционной схемы узла.

Для снижения инфильтрации холодных потоков воздуха и устранения недостатков кладки, необходимо зачеканить цементно-песчаным раствором все щели и пропуски в кладке несущей стены. Для обеспечения надежной теплоизоляции, необходимо подобрать утеплитель и его толщину по расчету, соответствующего нормам и требованиям СП [4].

При укладке теплоизоляции необходимо обеспечить ее надежное и герметичное прилегание к стене, а при использовании нескольких слоев, для обеспечения необходимой толщины, обязательное ее расположение с перехлестом швов без допущения образования щелей и пропусков. Проведенные исследования «НИИМосстрой» доказали, что при наличии зазоров между плитами утеплителя в 5 мм, существенно снижается

теплозащита конструкции, как при однослойном, так и при многослойном утеплении [39].

Для предотвращения промерзания угла, необходимо обеспечить его теплоизоляцию с обеих сторон, с нахлестом теплоизолирующего материала на сопрягаемое стену не менее чем на 500 мм. Так же необходимо загерметизировать стык между кладкой и стойкой из деревянного бруса при помощи уплотнительных лент или напыляемых материалов.

Поскольку помещение мансарды на рассматриваемом объекте занимает не все подкровельное пространство, то необходимо выполнить условия обеспечения теплоизоляции не только наружных стен, но и стен, расположенных со стороны чердачного пространства. Такие мероприятия снизят теплопотери через локально – неоднородные по геометрическим или теплофизическим параметрам участков ограждения.

Основываясь на исследования о влиянии краевых зон на общие теплопотери здания [39, 40, 41], можно сделать вывод, о необходимости тщательного устройства наружных ограждений, в частности их стыков между собой и с разнородными материалами.

### 3.3 Выводы по главе 3.

1) Выявлены основные конструкционно-теплоизоляционные недостатки устройства мансардных этажей на примере эксплуатируемого объекта в республике Хакасия.

2) Выполнен расчет узлов мансардного этажа на стационарный теплоперенос в программном комплексе Elcut professional, в ходе которого были выявлены мосты холода, получены значения температур на границах материалов.

3) Даны рекомендации по устранению в узлах мансарды конструкционных дефектов, влияющих на общие теплопотери здания.

4) Моделирование теплового контура здания проводилось в программном комплексе Elcut Professional в виде расчета на стационарный теплоперенос. Однако в процессе обследования здания выяснилось, что при определенных условиях значение инфильтрационных потоков холодного воздуха может иметь существенное влияние на теплопотери здания. Таким образом, для полного формирования картины теплового поля узла конструкции, необходим учет влияния инфильтрационных потоков воздуха, который не предусмотрен программой.

5) На основе проведенного обследования мансардного этажа эксплуатируемого здания, выделены следующие основные типы дефектов при его устройстве, а именно: неправильное устройство бруса-мауэрлата, отсутствие его герметичности между основной стеной и конструкцией теплой кровли, нарушения в выборе крепления стропильных ног при формировании подкровельного пространства; неправильное формирование конструкции теплой кровли в виде несоблюдения технологии устройства многослойных конструкций; при устройстве каркаса мансардного этажа не уделяется должное внимание его теплоизоляции и обеспечения его жесткости;

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) Современные технологии возведения мансард в частном домостроении несовершенны и характеризуются значительными дефектами на стадии строительства. На основе анализа литературных источников выявлены основные технологии и условия проектирования энергосберегающих зданий.

2) Проведено обследование эксплуатируемого мансардного этажа, в ходе которого выявлены конструкционные недостатки, влияющие на надежность теплозащиты здания. Зафиксированы факты движения инфильтрационных потоков через щели и неплотности в слоях многослойной конструкции теплой кровли. Проведен расчет количества инфильтрационного потока, который выявил значительные показатели количества потока воздуха на  $1 \text{ м}^2$  площади ограждающей конструкции.

3) Разработана методика мониторинга теплопотерь, заключающаяся в послышной тепловизионной съемке при разных погодных условиях, на основе которой сделаны выводы о низкой эффективности теплоизолирующего слоя в ограждающей конструкции мансардного этажа, рассматриваемого объекта.

4) На основе программного моделирования теплового контура узлов мансарды в расчетной программе Elcut Professional выполнена оценка влияния конструктивной схемы на теплотехнические параметры. Предложены рекомендации по усилению конструктивной схемы теплой кровли и устранению мостов холода в узлах мансардного этажа. Совершенствование конструктивных решений ограждающих конструкций мансардного этажа приводит к снижению трансмиссионных и конвекционных теплопотерь и расхода энергии на отопление в процессе эксплуатации здания. Таким образом, снижение факторов потерь теплоты через мосты холода, щели и неплотности в ограждающих конструкциях имеет потенциал к энергосбережению.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 54.13330.2011 Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003. – 2011.
2. СП 345.1325800.2017 Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты.
3. СП 17.13330.2011 Кровли. Актуализированная редакция СНиП II-26-76. – 2011.
4. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Изменение №1 от 15.06.2019.
5. СП 131.13330.2018 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*. – 2019.
6. Абелешев В. И. Исследование некоторых теплотехнических аспектов эффективного устройства мансард // Энергоаудит. – 2012. № 10 (104). С. 57.
7. Адам, Ф. М. Объемно-модульное строительство / Ф. М. Адам // Зодчий. 21 век. -2000.-№2.-С. 65.
8. Адам, Ф. М. Особенности монтажа быстровозводимых зданий / Ф. М. Адам // Монтажные и специальные работы в строительстве. М., 2001. -№ 2. - С. 12-16.
9. Ананьев А. И. Научно-технические основы повышения теплозащитных качеств и долговечности наружных ограждающих конструкций зданий из штучных материалов: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.23.01, 05.23.03 / НИИСФ РААСН. М., 1998 40 с.
10. Ананьев, А.И. Долговечность и энергоэффективность наружных стен из облегченной кирпичной кладки / А.И. Ананьев, А.А. Ананьев // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – № 3. – С. 352–356.
11. Ананьев, А.И. Комплексный подход к созданию энергоэкономичных отапливаемых зданий / А.И. Ананьев // Проблемы строительной теплофизики, систем микроклимата и энергосбережения в зданиях : сб. докл. третьей науч.-практ. конф. – М. : НИИСФ РААСН, 1998. – С. 59–68.

12. Апполонова, С. Теплоизоляционные изделия на основе каменного волокна / С. Апполонова // Петербургский строительный рынок. 2000. — № 4. — С.
13. Аронов, И. З. Обзор современных подходов к обеспечению качества и безопасности сложных систем на основе анализа видов, последствий и критичности отказов / И. З. Аронов // Надежность и контроль качества. 1996. - № 11. - С. 3-15.
14. Бадьин Г. М., Сычев С. А. Конструкция мансардной крыши: пат. 2317380 Российской Федерации/ Г. М. Бадьин, С. А. Сычев.25.05.2006г.
15. Баранчикова Е. В. Крыши, мансарды, лестницы, полы. Е. В. Баранчикова. – М.: Издательство Феникс, 2004. — С. 224.
16. Башмаков И.А. Повышение энергоэффективности в жилищном секторе // Энергосбережение. 2009. № 8. С. 40-53.
17. Береговой А.М. Мальцев А.В. Дерина М.А. Гречишкин А.В. Эффект энергосбережения в помещении с естественной вентиляцией в условиях инфильтрации воздуха через наружную стену // Пермь, региональная архитектура и строительство №3. 2013. 140-144 с.
18. Байбурин, А. Х. Надежность как критерий для классификации дефектов в строительстве / А. Х. Байбурин // Промышленное и гражданское строительство. -2000. -№ 10.-С. 25-26.
19. Белов Т. В. Влияние ориентации стенового ограждения на долговечность заделки анкера крепления навесного фасада // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2015. № 4 (12). С.1 42-146.
20. Бобров, Ю. Л. Долговечность теплоизоляционных минераловатных материалов / Ю. Л. Бобров. - М.: Стройиздат, 1987. - 168 с.
21. Бобров, Ю. Л. Теплоизоляционные материалы и конструкции: учеб. / Ю.Л. Бобров. - М.: ИНФРА-М, 2003. – 268 с.
22. Богословский В. Н. Тепловой режим здания. М.: Стройиздат, 1979 – 248с.
23. Богословский В. Н. Три аспекта концепции ЗЭИЭ и особенности переходного периода // Проблемы строительной теплофизики и



энергосбережения в зданиях: сб. докл. науч.-практ. конф. / под ред. В.Г. Гагарина / НИИСФ РААСН. М., 1997 Т. 1 С. 7– 9.

24. Вернеке Д. Энергоэффективное строительство – это мировая тенденция // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2008 № 10. – С. 40-41.

25. Васильева, И. Плиты «Пеноплекс» - современные методы теплоизоляции / И. Васильева // Петербургский строительный рынок. - 2000. - № 4 - С. 19.

26. Влияние продольной фильтрации воздуха в утеплителе на теплозащитные свойства стен с навесными вентилируемыми фасадами./ Садчиков А.В. автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук // Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук. Москва, 2007.

27. Гагарин В. Г., Козлов В. В. О нормировании теплотерь через оболочку здания // Academia. Архитектура и строительство. 2010 № 3 С. 279– 286.

28. Гагарин В. Г., Козлов В. В. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» // Жилищное строительство. 2011 № 8 С. 2-6.

29. Государственная информационная система в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. URL: <https://gisee.ru/>.

30. Горшков, А.С., Рымкевич, П.П., Ватин, Н.И. Моделирование процессов нестационарного переноса тепла в стеновых конструкциях из газобетонных блоков // Инженерно-строительный журнал, 2014 № 8 (52). – С. 38-48.

31. Грунау, Э. Предупреждение дефектов в строительных конструкциях: пер. с нем. / Э. Грунау. - М.: Стройиздат, 1980. - 186 с.

32. Гулак Л.И., Бубнович С.Н. Теплоизоляция мансарды // Научный вестник воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: высокие технологии. Экология. - №1. – 2016.

33. Дацюк, Т.А. Инженерные аспекты энергосбережения зданий / Т.А. Дацюк // Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – № 5. – С. 326–328.

34. Есеева Л. Б. Мансардные помещения. // Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. Издательство: Общество с ограниченной ответственностью "Центр научного сотрудничества "Интерактив плюс". / Чебоксары. – 2017.
35. Завадскас, Э-К. К. Комплексная оценка и выбор ресурсосберегающих решений в строительстве / Э-К. К. Завадскас. - Вильнюс: Москлас, 1987. - 212 с.
36. Зильберова И.Ю., Петрова Н.Н., Героева А.М. Современные технологии надстройки мансардных этажей при реконструкции жилых зданий первых массовых серий // Инженерный вестник Дона. - №23.- 2012.
37. «Исследования НИИМосстрой доказали эффективность однослойного утепления» [Электронный ресурс] : ROCKWOOL Russia – Электрон. журн. – Режим доступа: <https://www.rockwool.ru/about-us/news/2019-01-14/>
38. Каталог изоляционных материалов ROCKWOOL [Электронный ресурс] : <https://www.rockwool.ru> – Электрон. журн. – Режим доступа: [https://www.rockwool.ru/siteassets/o2-rockwool/-/-/2/rockwool\\_insulation\\_01.2018.pdf?f=20180626040527](https://www.rockwool.ru/siteassets/o2-rockwool/-/-/2/rockwool_insulation_01.2018.pdf?f=20180626040527)
39. Корниенко С.В. Оценка влияния краевых зон ограждающих конструкций на теплозащиту и энергоэффективность зданий // Инженерно-строительный журнал. – 2011 - №8. С. 5-12.
40. Корниенко С.В. Оценка влияния краевых зон ограждающих конструкций на теплопотери здания // Вестник МГСУ. – 2011 - №3-1. С. 359-365.
41. Корниенко, С.В. Многофакторная оценка теплового режима в элементах оболочки здания // Инженерно строительный журнал. - 2014 - №8 (52). – С.25
42. Кувшинов, Ю.Я. Вопросы энергетической и экономической эффективности панельно-лучистого охлаждения помещений / Ю.Я. Кувшинов, Д.Н. Зинченко, С.Г. Булкин // Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – № 5. – С. 398–403.
43. Мажников А. В. Способ возведения сборной крыши мансардного типа. // Символ науки. - №5. – 2017.
44. Малявина Е. Г. Теплопотери здания: справочное пособие // Е.Г.

Малявина. Москва Изд-во АВОК-ПРЕСС 2007.

45. Матвеев Е.П. Реконструкция жилых зданий с надстройкой этажей из объемных блоков // Жилищное строительство. - № 8. - 1999.

46. Матросов Ю. А. Энергосбережение в зданиях. Проблема и пути ее решения / НИИСФ РААСН. М.,2008 496 с.

47. Нагаева К.П. Анализ применения современных теплоизоляционных материалов для утепления мансард // Научный вестник воронежского государственного архитектурно-строительного университета. серия: высокие технологии. Экология. - №1. – 2017.

48. Некрасов, М. Теплоизоляционные материалы: сравнительные характеристики / М. Некрасов // Технологии строительства. - 2003. - № 2. - С. 20-25.

49. Нестеров В.Ю. Конструктивные схемы мансард. // Кровельные и изоляционные материалы. - №6. – 2013.

50. Нестеров В.Ю. Классификация подкровельной изоляции по правилам союза немецких кровельщиков. // Кровельные и изоляционные материалы. - №6. – 2015.

51. Опарина Л.А. Учёт энергоёмкости строительных материалов в жизненном цикле зданий – путь к устойчивому развитию // Энергосбережение. – 2014. № 8. С. 66–68.

52. Перехоженцев, А.Г. Нормирование и расчет тепло- и пароизоляции многослойных ограждающих конструкций / А.Г. Перехоженцев // Строительная физика в XXI веке : матер. науч.-техн. конф. – М. : НИИСФ РААСН, 2006. – С. 139–143.

53. Портнягин Д.Г. Повышение теплозащиты узлов ограждающих конструкций зданий с применением пеностеклокристаллического материала // Инженерно-строительный журнал. - 2015 - №8. – С.56-66.

54. Прохоров В. И. Облик энергосбережения // Актуальные проблемы строительной теплофизики: сб. докл. 7-й науч.-практ. конф. Академические чтения / под ред. В. Г. Гагарина / НИИСФ РААСН. М.,2002 С. 73–93.

55. Процессы строительства малоэтажного жилья: современный аспект: монография / А. Б. Петрухин, Ю. Е. Острякова, Ю. А. Чистякова, Е. Е. Тимофеева, Н. А. Щербакова; Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Ивановский гос. политехнический ун-т". - Иваново: ЛИСТОС, 2014. - 215с.
56. Практическое применение энергосберегающих технологий: учебное пособие [Текст] / Д.Н. Китаев, Б.Мровчинска, Э.Е. Семенова под общ. ред. В.Н. Семенова и Н.С. Попова. – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2014. – 193 с.
57. Проектные решения устройства скатных кровель «ТехноНИКОЛЬ» [Электронный ресурс] : <https://www.tn.ru/> – Электрон. журн.– Режим доступа: <https://nav.tn.ru/systems/skatnaya-krysha/>
58. Решение полевых задач с помощью программы ELCUT 6.0. Задачи магнитостатики и магнитного поля переменных токов/ Сочава М.В. – Учебное пособие. – СПб., 2014 38 с.
59. Руководство по оценке эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия / А.Н. Дмитриев, И.Н. Ковалев, Ю.А. Табунщиков, Н.В. Шилкин. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2005. – 120 с.
60. Савин В. К. Строительная физика: энергоперенос, энергоэффективность, энергосбережение. М. :Лазурь, 2005 432 с. 6.
61. Самойлов В.С., Левадный В.С. Мансарды. Эркеры. Балконы. В.С. Самойлов, В.С. Левадный. – М.: Издательство Аделант, 2006. —319 с.
62. Седип, С. С. Технология утепления наружных стен жилых зданий крупнопанельных зданий в условиях республики Тыва: дис. ... канд. техн. наук / С. С. Седип. - СПб., 2007. - 136 с.
63. Сотников, А.Г. Мониторинг микроклимата — основа создания эффективных систем и здания с минимальным энергопотреблением / А.Г. Сотников // Инженерно-строительный журнал. – 2010. – № 7. – С. 47–52.
64. Сычев, С. А. Технология устройства мансард из унифицированных панелей / С. А. Сычев // СтройПрофиль. 2007. - № 8. - С.42-44.
65. Сычев, С. А. Анализ технологий устройства мансард без отселения

жильцов / С. А. Сычев // Сб. науч. тр. LXIV науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов /С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т. —[СПб.], 2007.-С. 51-55.

66. Сычев, С. А. Выбор технологии надстройки мансардного этажа / С. А. Сычев// Современные направления технологии строительного производства: статьи, тезисы докл. науч.-практ. семинара / СПбВИТУ. - [СПб.], 2006. - Вып. 9 - С. 28-33.

67. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М. : АВОК-ПРЕСС, 2002 194 с.4  
Табунщиков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В. Энергоэффективные здания. М. : АВОК-ПРЕСС, 2003 200 с.

68. Табунщиков Ю.А., Наумов А.Л., Миллер Ю.В. Критерии энергоэффективности в «зеленом» строительстве // Энергосбережение. 2012. №1. С. 4-9.

69. Тютин А. В. Конструктор для кровли. // Кровельные и изоляционные материалы. - №3. - 2013.

70. Умнякова, Н. П. Теремок. Эффективная теплоизоляция Rockwool: рекомендации специалистов и строителей / Н.П. Умнякова. - М.: Rockwool, 2000. - 48с.

71. Франчук, А.У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов / А.У. Франчук. М. : Стройиздат, 1949. – 120 с.

72. Халимов О.З. Халимова Н.М. К вопросу о типологии дефектов теплопотерь через ограждающие конструкции индивидуальных зданий // Строительство и реконструкция. – 2017. №3 (71). С 94–98.

73. Халимов И.О., Халимов О.З., Селиванов В.М. О необходимости теплотехнического консалтинга на этапах жизненного цикла недвижимости // Новое слово в науке: перспективы развития. – 2015. №4. С. 180–181.

74. Халимов О.З., Шibaева Г.Н., Ибе Е.Е., Портнягин Д.Г. Совершенствование антисейсмических поясов бескаркасных зданий для повышения энергоэффективности // Вестник Евразийской науки, 2018 №2.

75. Шитиков Д. В. Изучение причин теплопотерь пластиковых окон: тезисы докл. / Д. В. Шитиков, П. В. Мордвин, О.З. Халимов // IV Международ. Научно-практич. конф. – Абакан: ХТИ-филиал СФУ, 2011. С. 68–72.
76. Шихов А.Н. Обеспечение тепловой защиты и звукоизоляции мансардных надстроек //., ИПЦ «Прокрость», Пермь, 2015.
77. Шубин, И.Л. Законодательство по энергосбережению в США, Европе и России. Пути решения / И.Л. Шубин, А.В. Спиридонов // Бюллетень строительной техники. – 2012. – № 2. – С. 14–18.
78. Alajmi, A. Energy audit of an educational building in a hot summer climate / A. Alajmi // Energy and Buildings. – 2012. – Vol. 47. – pp. 122–130.
79. Cowan, H.J. Science and Building. Structural and environmental design in the nineteenth and twentieth centuries / H. J. Cowan. New-York, Sydney, 1978. - 356 p.
80. Cheng, Y. Thermal comfort models: A review and numerical investigation / Y. Cheng, J. Nin, N. Gao // Building and Environment. – 2012. – Vol. 47. – pp. 13–22.
81. Gustavsson L., Joelsson A. Life cycle primary energy analysis of residential buildings // Energy and Buildings. 2010. Vol. 42. Issue 2. Pp. 210–220.
82. Hauser G., Stiegel H. Wärmebrücken-Atlas für den Holzbau. Wiesbaden, 1992.
83. Hauser G., Stiegel H. Wärmebrückenatlas für den Mauerwerksbau. Wiesbaden, 1997.
84. Levy, M.M., J. Cell. Plast. (1966) 2 (1), p. 37.
85. Monitoring and safety evaluation of existing concrete structures // FIB (CEB-FIP) Bulletin. 2003. - P. 153-161.
86. Mittasch, H., Plaste Kautsch. (1969) 16 (4), p. 268.
87. Pauak, I., Mater. Constr. Paris (1973) 6, p. 31.
88. Reconstruction of administrative buildings of the 70's: The possibility of energy modernization / N.I. Vatin, D.V. Nemova, V. Murgul [and others] // Journal of Applied Engineering Science. – 2014. – No. 1. – pp. 37–44.
89. Rode, C. Empirical validation of a transient computer model for combined heat and moisture transfer / C. Rode, D.M. Burch // Thermal Performance of the Exterior

Envelopes of Building VI, December 4–8. Clearwater Beach, FL: 1995. – pp. 283–295.

90. Tenpieric, M. An Analytical Model for Calculating Thermal Bridge Effects in High Performance Building Enclosure / M. Tenpieric, W. Van der Spoel, H. Cauberg // Journal of Building Physics. – 2008. – No. 31. – pp. 361–387.

91. Jones, J.C. Designing methods / J. C. Jones. New-York: John Wiley&Sons, 1982.

### **Публикации:**

- 1) Халимов О.З., Арнгольд А.А., Кисельман А.П., Стрельников Д.А., Классификация дефектов теплопотерь в узлах мансардных этажей, Научное сообщество студентов XXI столетия. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: сб. ст. по мат. LXV междунар. студ. науч.-практ. конф. № 5(64). URL: <https://sibac.info/studconf/tech/lxv/107107>
- 2) Арнгольд А.А., Халимов О.З., Классификация теплопотерь в узлах мансардных этажей, Проспект Свободный – 2018 : материалы Междунар. студ. конф. Красноярск, 23–27 апреля 2018 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://Lib3.sfu-kras.ru/ft/LIB2/ELIB/b72/free/i-759261597.pdf>
- 3) Шибеева Г.Н., Кисельман А.П., Стрельников Д.А., Арнгольд А.А., Анализ современного рынка видов теплоизоляционных материалов в строительстве, Научное сообщество студентов XXI столетия. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: сб. ст. по мат. LXVI междунар. студ. науч.-практ. конф. № 6(65) 2018. URL: <https://sibac.info/studconf/tech/lxvi/109964>
- 4) Портнягин Д.Г., Стрельников Д.А., Кисельман А.П., Арнгольд А.А., Анализ поведения мелкозаглубленных фундаментов в условиях пучинистых грунтов, Научное сообщество студентов XXI столетия. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: сб. ст. по мат. LXVI междунар. студ. науч.-практ. конф. № 6(65) 2018. URL: <https://sibac.info/studconf/tech/lxvi/110037>
- 5) Нагрузова Л.П., Кисельман А.П., Стрельников Д.А., Арнгольд А.А., Танков Е.В., Совершенствование бетонов и изготовление железобетонных конструкций с экономией цемента до 40% – 50% с применением микрокремнезёма, Наука и бизнес: пути развития. научно-практический журнал. № 10 (88) 2018. URL: [http://globaljournals.ru/assets/files/journals/science-and-business/88/sb-10\(88\)-2018-main.pdf](http://globaljournals.ru/assets/files/journals/science-and-business/88/sb-10(88)-2018-main.pdf)
- 6) Арнгольд А. А., Халимов О. З., «Эффективность работы теплоизоляции в многослойных конструкциях», Перспективы науки. Научно-практический журнал. №5 (116) 2019.



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

Отпечатано в \_\_\_\_\_ экземплярах.

Библиография \_\_\_\_\_ наименований.

Один экземпляр сдан на кафедру.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

---

(подпись)

---

(Ф.И.О.)

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

Хакасский технический институт-филиал СФУ  
 институт

Строительство  
 кафедра

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

"Оптимизация архитектурных, конструктивных и теплотехнических узлов при создании

мансардных этажей"

тема

08.04.01 Строительство

код и наименование направления

08.04.01.03 Теория и проектирование зданий и сооружений

код и наименование магистерской программы

Выпускник: Арнгольд Александр Александрович, гр. 37-3

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент: Халимов Олег Закирович

### Цель исследования:

Целью диссертации является создание типологии дефектов мансардного этажа индивидуальных зданий республики Хакасия и юга Красноярского края.

### Задачи исследования:

1. Провести поиск и анализ существующих технологий проектирования мансардного этажа;
2. Исследовать влияние технических параметров на теплотехнические характеристики узлов мансард;
3. Оценить эффективность существующих методов проектирования мансардного этажа на примере эксплуатируемого объекта;
4. Выявить факторы движения инфильтрационных и эксфильтрационных воздушных потоков через щели и пустоты многослойных конструкций;
5. Оценить состояние работы теплоизоляции в узлах мансардного этажа на примере эксплуатируемого объекта в городе Абакан республики Хакасия;
6. Разработать типологию дефектов узлов мансардного этажа, выявить основные конструкционные и технологические недостатки, влияющие на теплоизоляцию здания.

### Актуальность:

Актуальность работы заключается в выявлении дефектов теплозащиты мансардных этажей, в климатических условиях республики Хакасия и юга Красноярского края.

### Апробация работы:

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых.

### Научная новизна:

1. Выявлена зависимость факторов движения инфильтрационных потоков воздуха через многослойные ограждающие конструкции мансард, влияющая на общие теплопотери здания;
2. Разработана методика тепломониторинга зданий при разных погодных условиях;
3. Экспериментальным путем установлена закономерность снижения свойств теплозащиты здания при неконтролируемом качестве укладки его теплоизоляции;

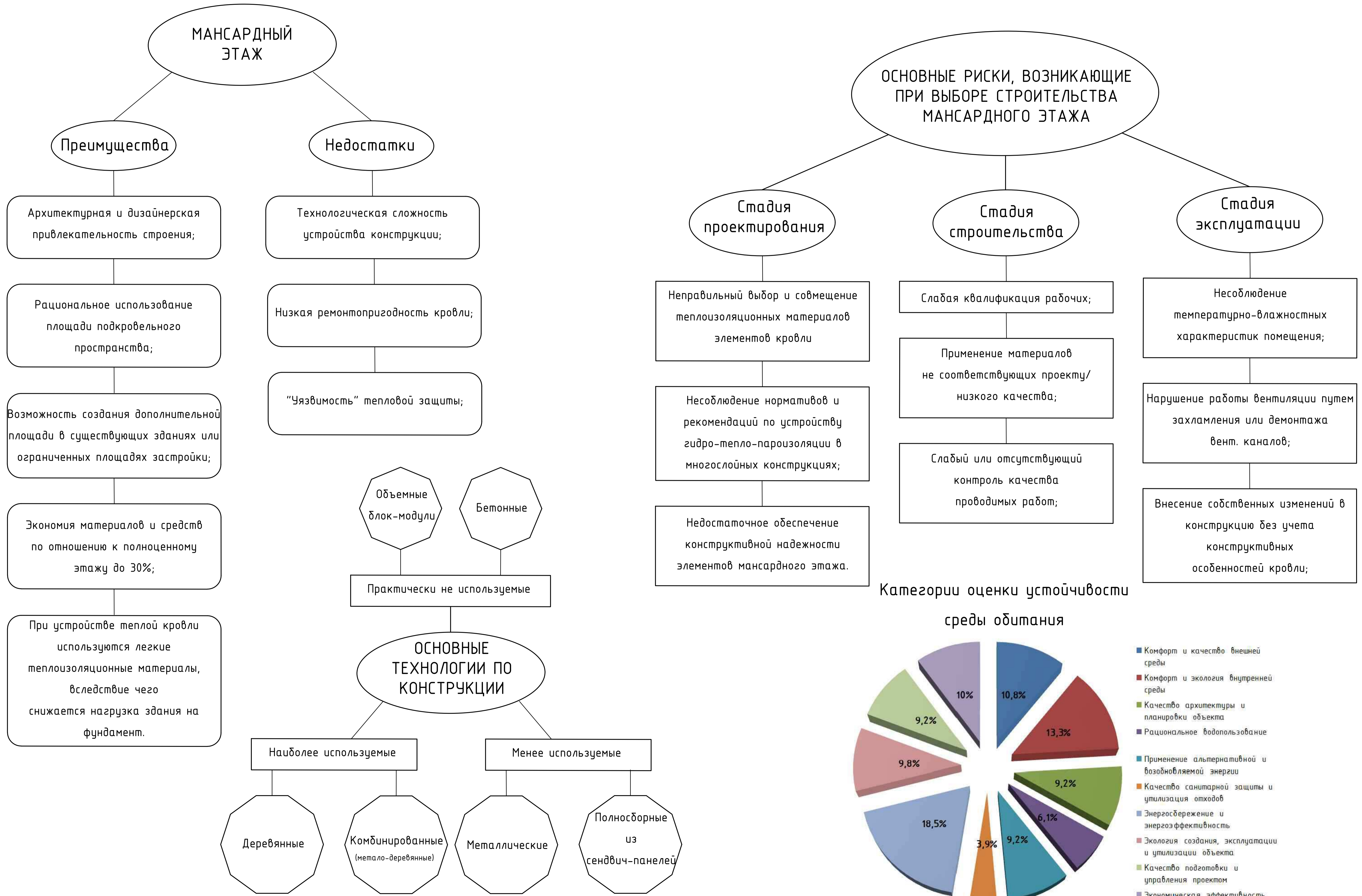
### Практическая значимость:

1. Проведено исследование теплопотерь мансардного этажа, в ходе которого были выявлены основные конструкционные и теплотехнические недостатки его устройства;
2. Проведен расчет количества инфильтрационного воздуха, поступающего через щели и неплотности ограждающей конструкции. В ходе расчета выявлено, что на  $1 \text{ м}^2$  площади дефектной ограждающей конструкции приходится до  $20.285 \text{ кг/ч}$ . поступающего холодного потока воздуха.

Выявленные в процессе исследования мансардного этажа дефекты, могут быть положены в основу классификации типологии дефектов теплопотерь объектов недвижимости;

3. Проведен расчет узлов мансарды на стационарный теплоперенос в программном комплексе Elcut professional. В ходе моделирования расчетом выявлены мосты холода и даны рекомендации по устранению выявленного брака.

# Преимущества и недостатки мансардного этажа; основные технологии и особенности устройства; риски, возникающие при частном домостроении.



ВЫПОЛНЕНО В СТУДЕНЧЕСКОЙ ВЕРСИИ ПРОГРАММЫ AUTODESK

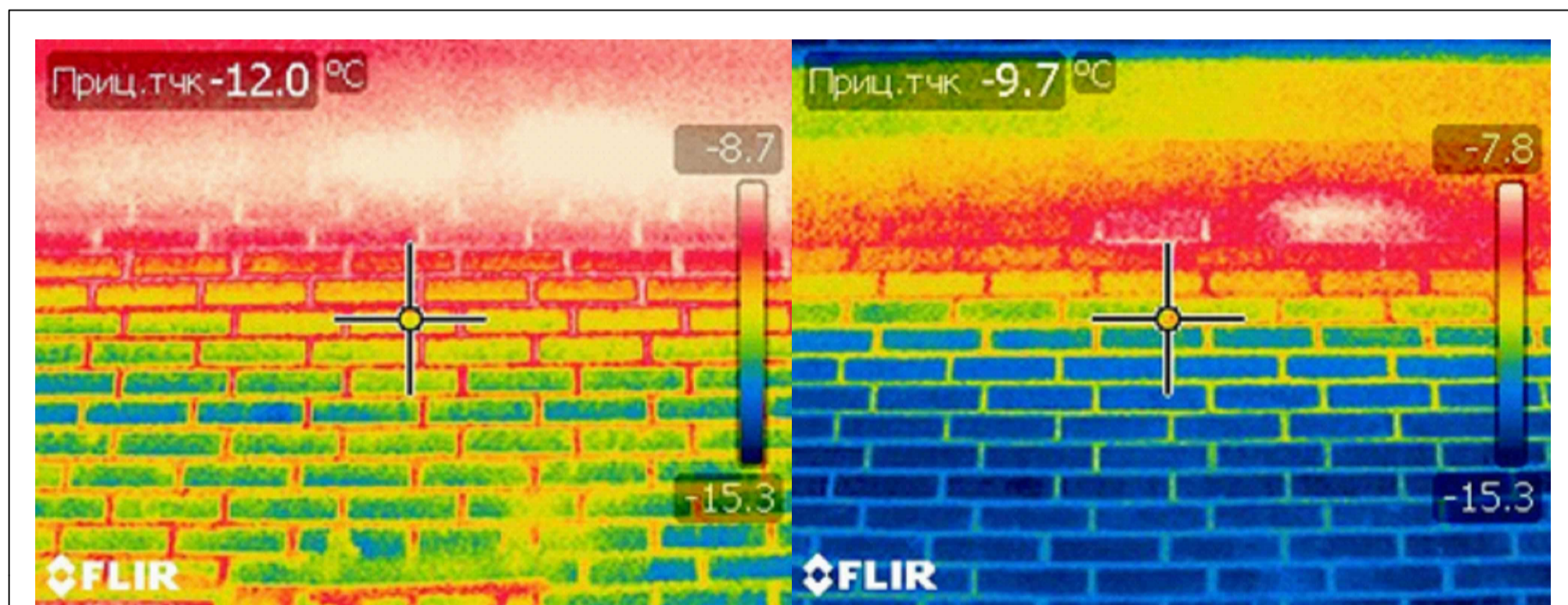
ВЫПОЛНЕНО В СТУДЕНЧЕСКОЙ ВЕРСИИ ПРОГРАММЫ AUTODESK

# Мониторинг теплопотерь здания на примере узла мансардного этажа; описание методики эксперимента.

1) Визуальный осмотр обследуемого узла здания и последующее, инструментальное исследование при помощи тепловизора марки Flir B200, чувствительностью 0.08°C, с целью выявления мест наиболее сильных утечек тепла.

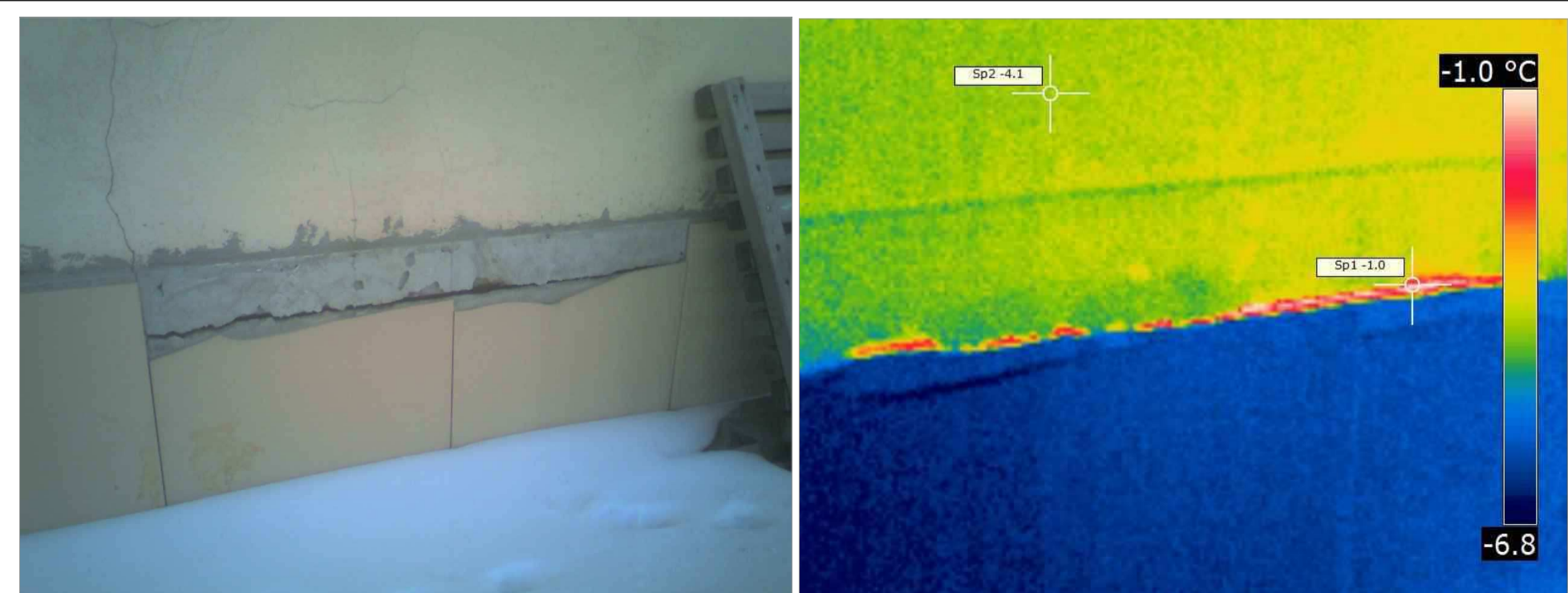
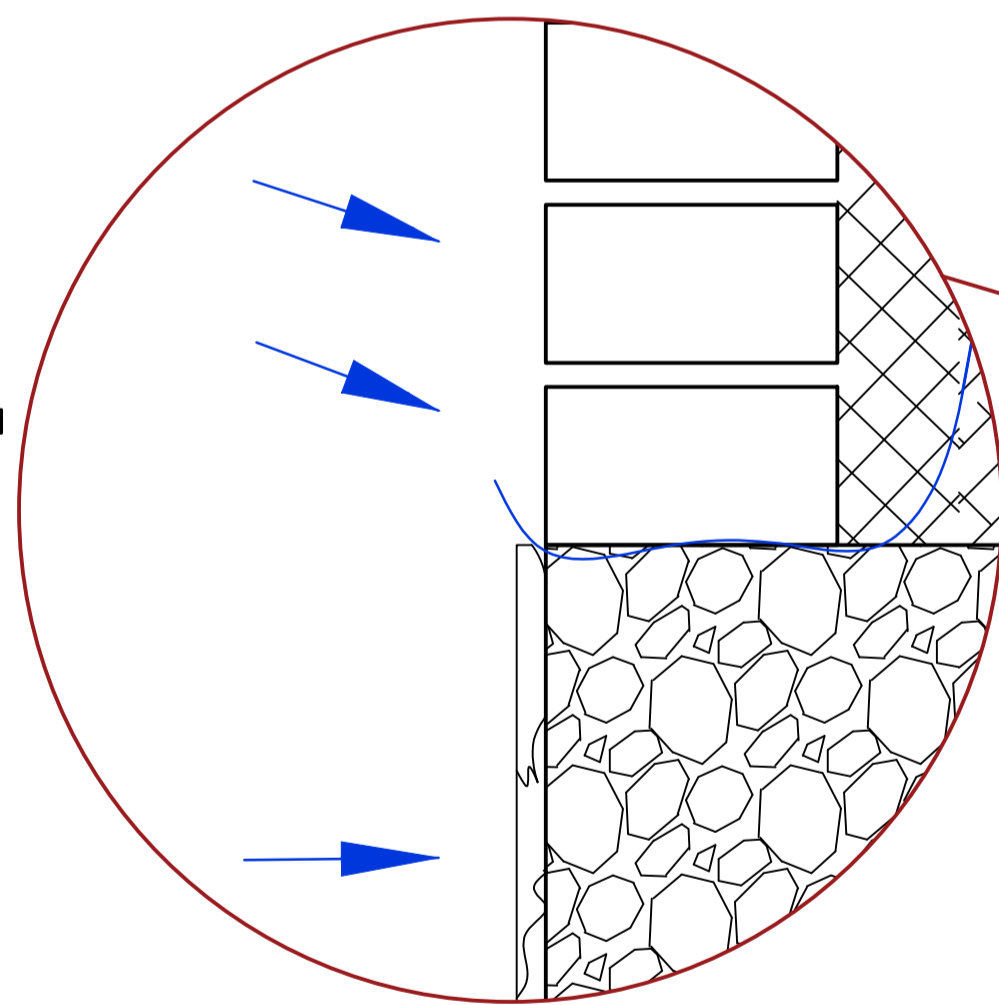


Первоначальное состояние обследуемого участка здания.

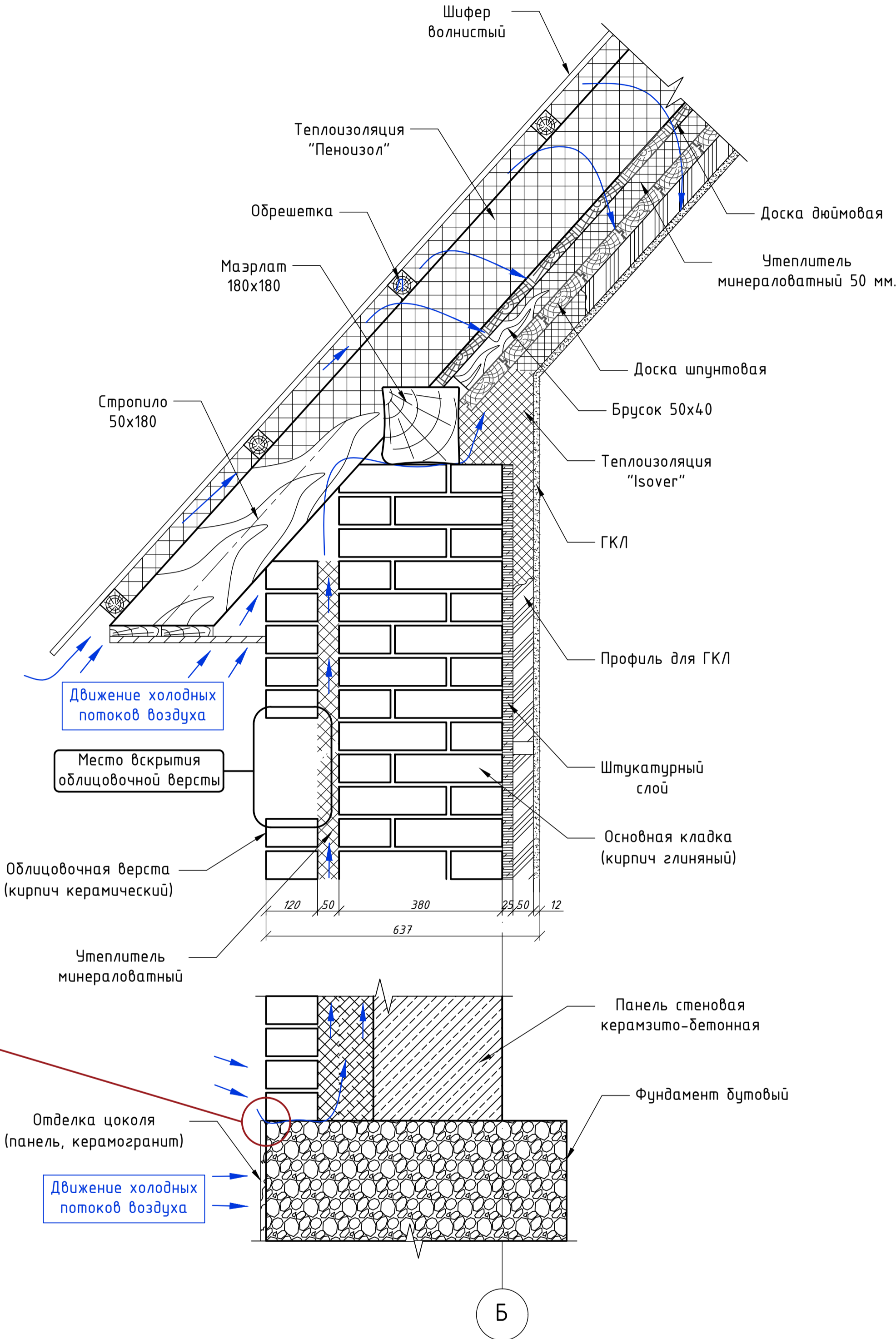


Результаты тепловизионной съемки снаружи помещения, t<sub>н</sub>=-27°C.

Дефекты цокольной части здания, способствующие проникновению инфильтрационных потоков воздуха в толщу ограждающей конструкции: трещины в цокольной части здания, отсутствие теплоизоляции в цокольной части здания.



Теплопотери цокольной части при первичной теплосъемке здания, t<sub>н</sub>=-12°C.



2) Локальное вскрытие облицовочной версты в месте наиболее сильных утечек тепла, зафиксированных на первом этапе, фиксирование тепловизионных данных при t<sub>н</sub>=-13°C.

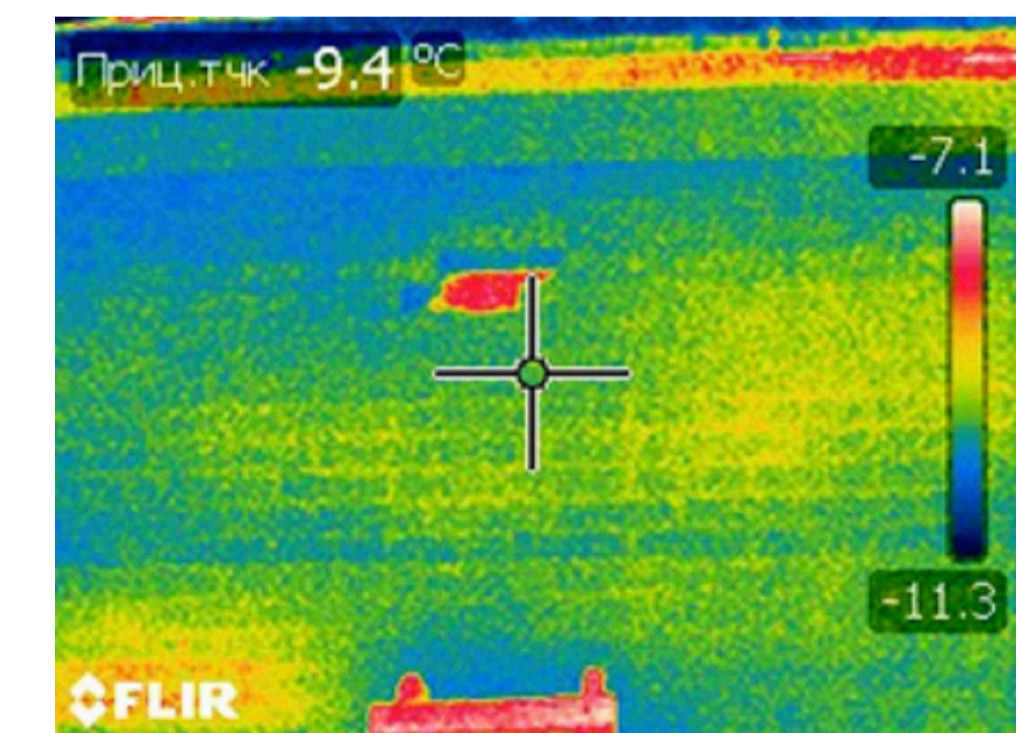
Вскрытие кладки необходимо для определения состояния утеплителя и его эффективности с помощью тепловизионной съемки. Вскрытие выявило такие дефекты как: отсутствия местами раствора в кладке осн. стены, неоднородность, низкое качество утеплителя и малая толщина утеплителя.



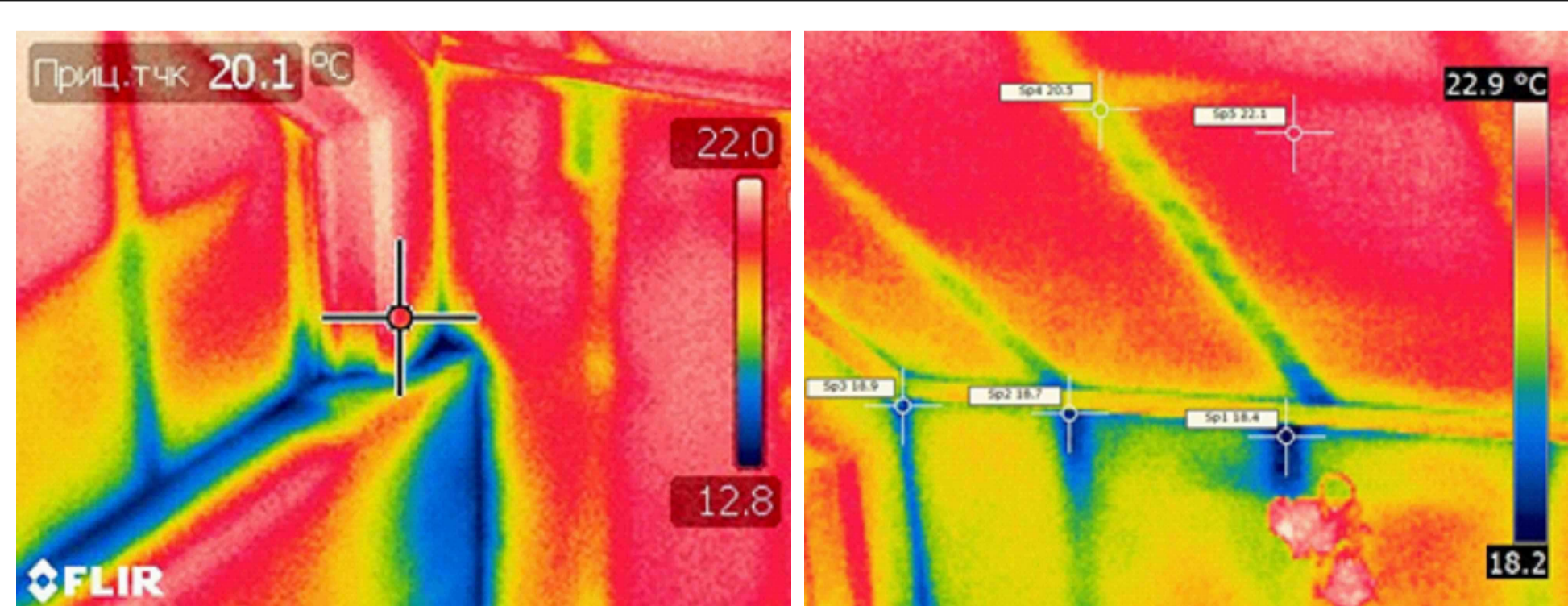
Вскрытие облицовочной кладки карнизного узла.



Дефекты кладки и теплоизолирующего слоя.



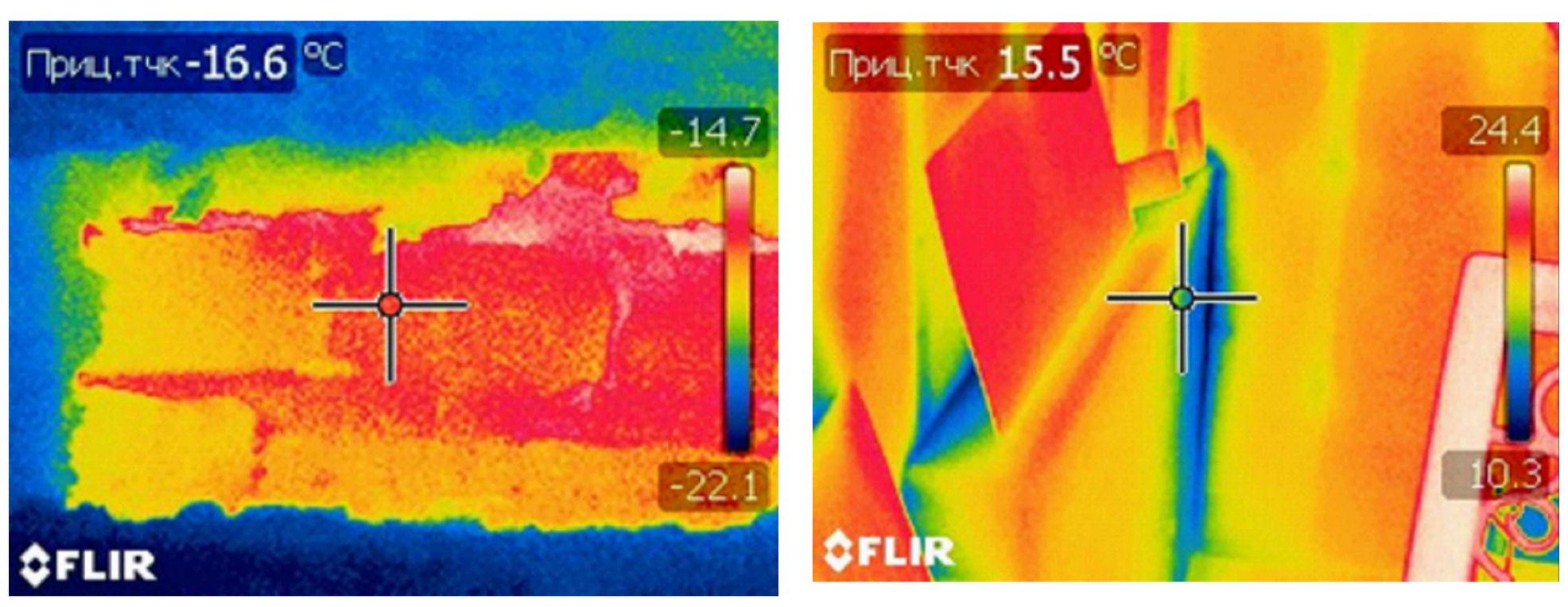
Термограмма участка непосредственно во время вскрытия облицовочной версты.



Результаты тепловизионной съемки внутри помещения, t<sub>в</sub>=22°C, Φ≈55%.

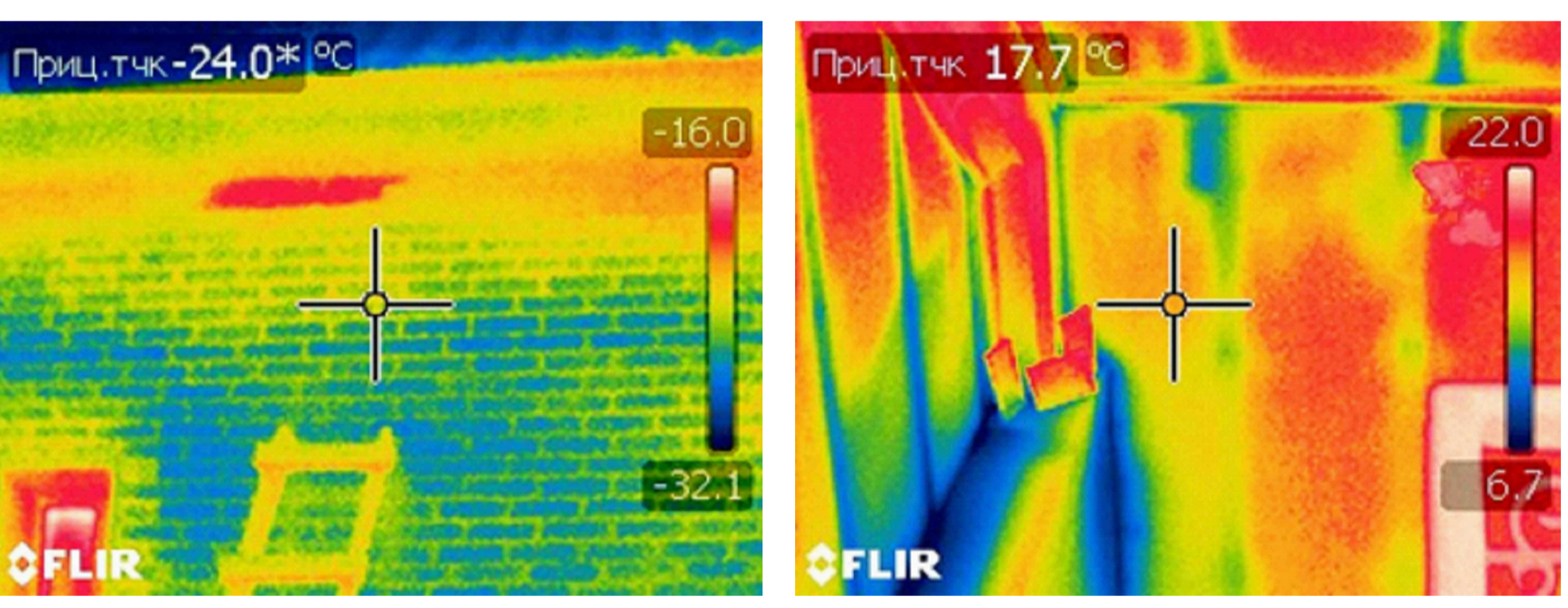
# Мониторинг теплопотерь здания на примере узла мансардного этажа; описание методики эксперимента.

3) После извлечения утеплителя, при температуре наружного воздуха  $t_n = -22^\circ\text{C}$ , и отсутствующем ветре, разница температур поверхности кладки облицовочной версты и вскрытой полости составила  $7,4^\circ\text{C}$ . Значения «холодных» показаний угла внутри помещения составили разницу в  $2,5^\circ\text{C}$  с первоначальными.



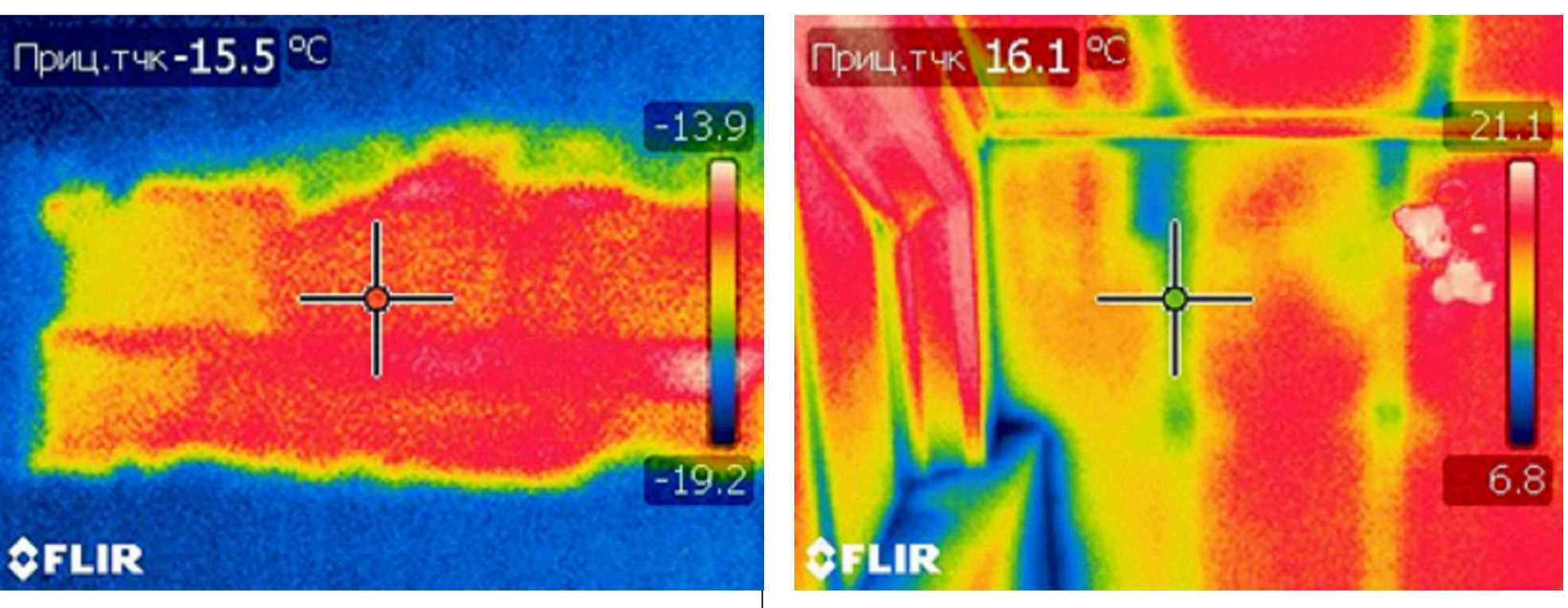
Тепловизионные показатели снаружи и внутри помещения при  $t_n = -22^\circ\text{C}$ .

3.1) При температуре наружного воздуха  $t_n = -30^\circ\text{C}$ , зафиксированы большие теплопотери на наблюдаемом участке. Значения температуры обнаженной кладки стены с температурой основной поверхности составили разницу  $+16,1^\circ\text{C}$ . Значения внутренней поверхности угла составили разницу  $6,1^\circ\text{C}$ , по сравнению с первоначальным показателем.



Тепловизионные показатели снаружи и внутри помещения при  $t_n = -30^\circ\text{C}$ .

3.2) После повышения температуры наружного воздуха до  $t_n = -25^\circ\text{C}$ , зафиксированные показания тепловизора практически не изменились относительно прежних показаний. Следовательно, потери тепла через вскрытую полость и общие теплопотери мансардного этажа практически выровняли температуру всей поверхности стен мансардного этажа.



Тепловизионные показатели снаружи и внутри помещения при  $t_n = -25^\circ\text{C}$ .

График температуры поверхности материалов в сечении от наружной грани ограждающей конструкции к внутренней по данным компьютерного моделирования в программном комплексе Elcut Professional при расчете узла на стационарный теплоперенос при нормативной температуре воздуха  $t = -37.0^\circ\text{C}$ .

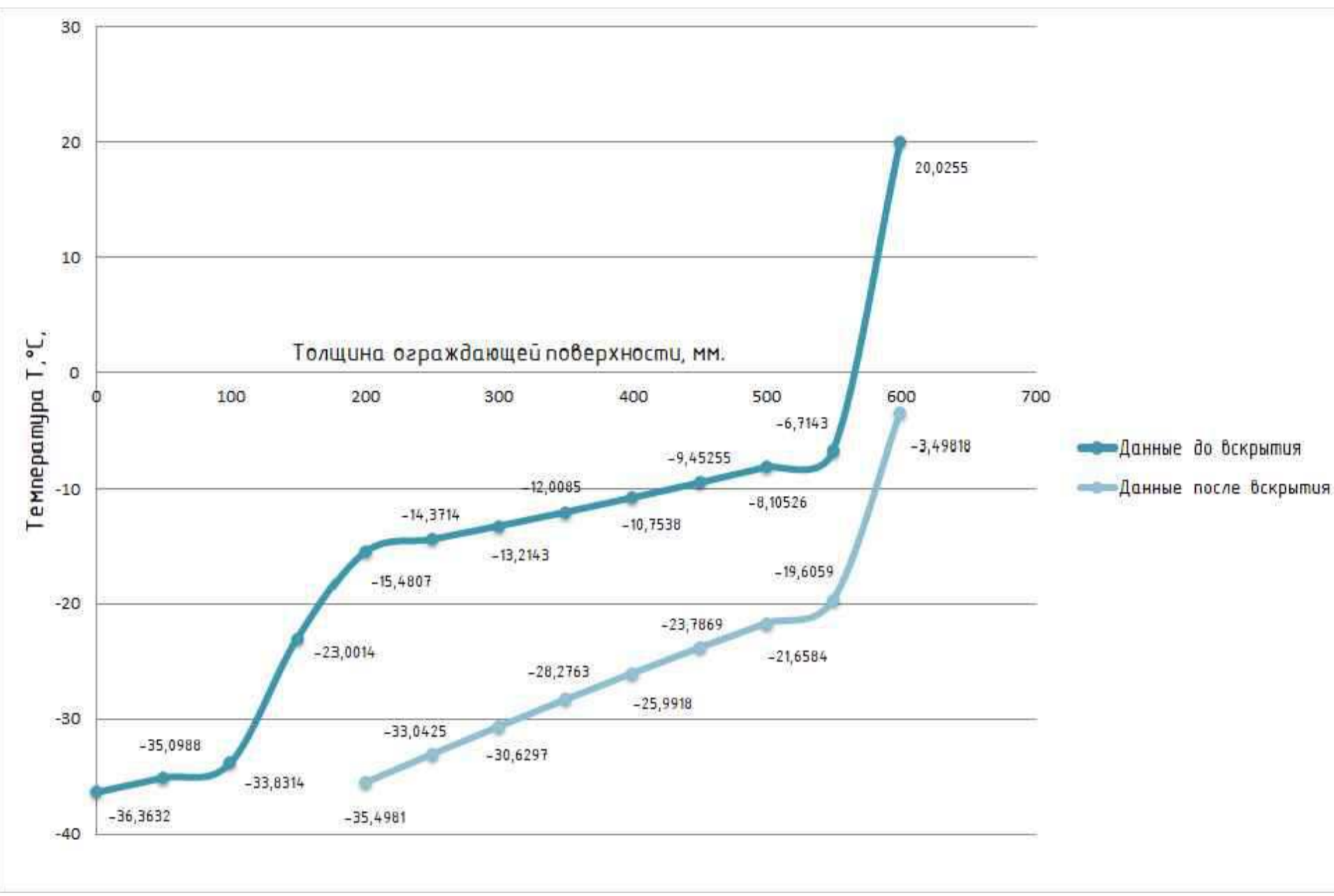
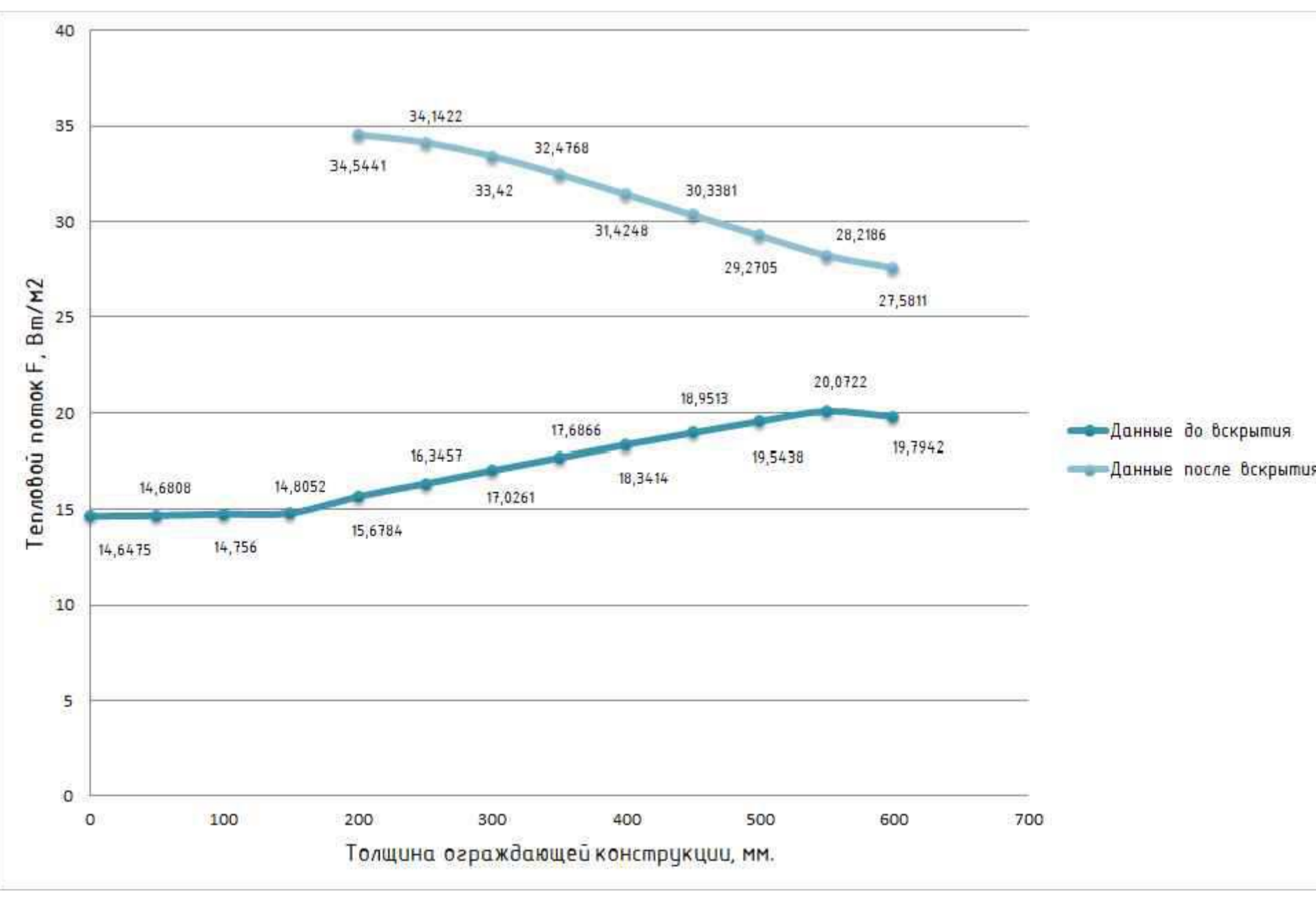
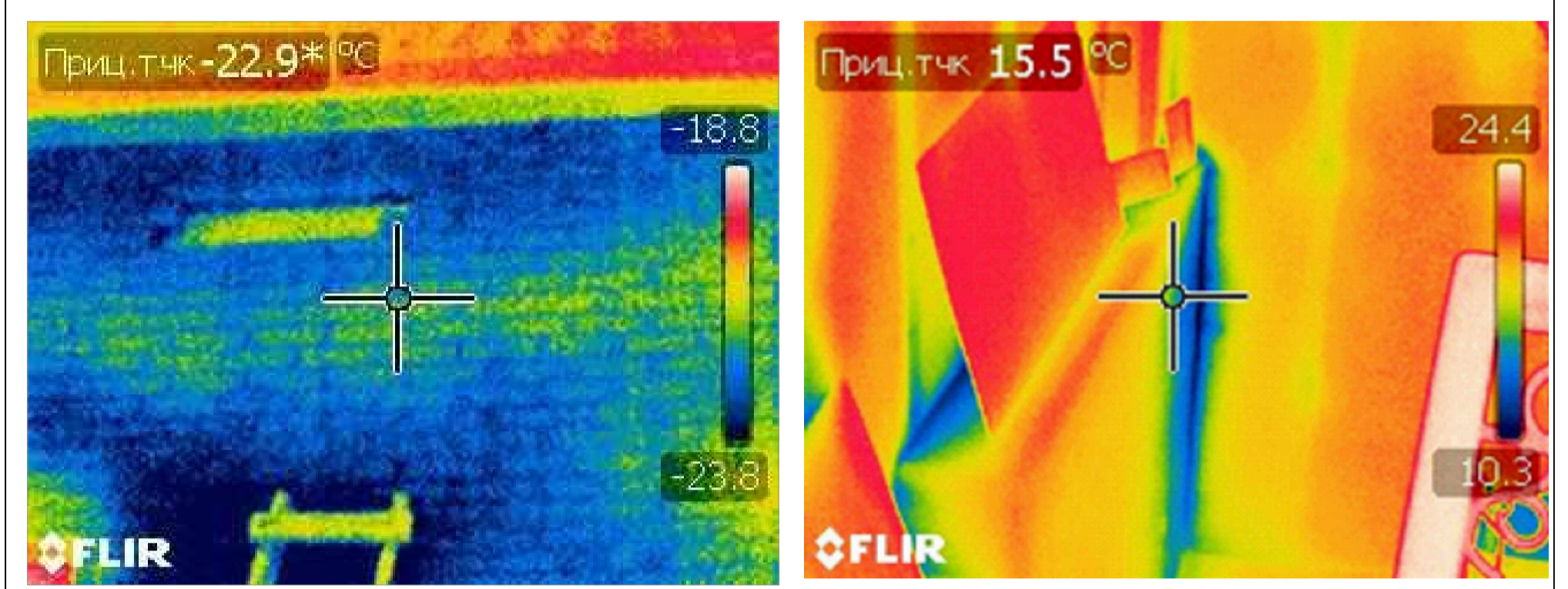


График движения теплового потока в сечении от наружной грани ограждающей конструкции к внутренней по данным компьютерного моделирования в программном комплексе Elcut Professional при расчете узла на стационарный теплоперенос при нормативной температуре воздуха  $t = -37.0^\circ\text{C}$ .

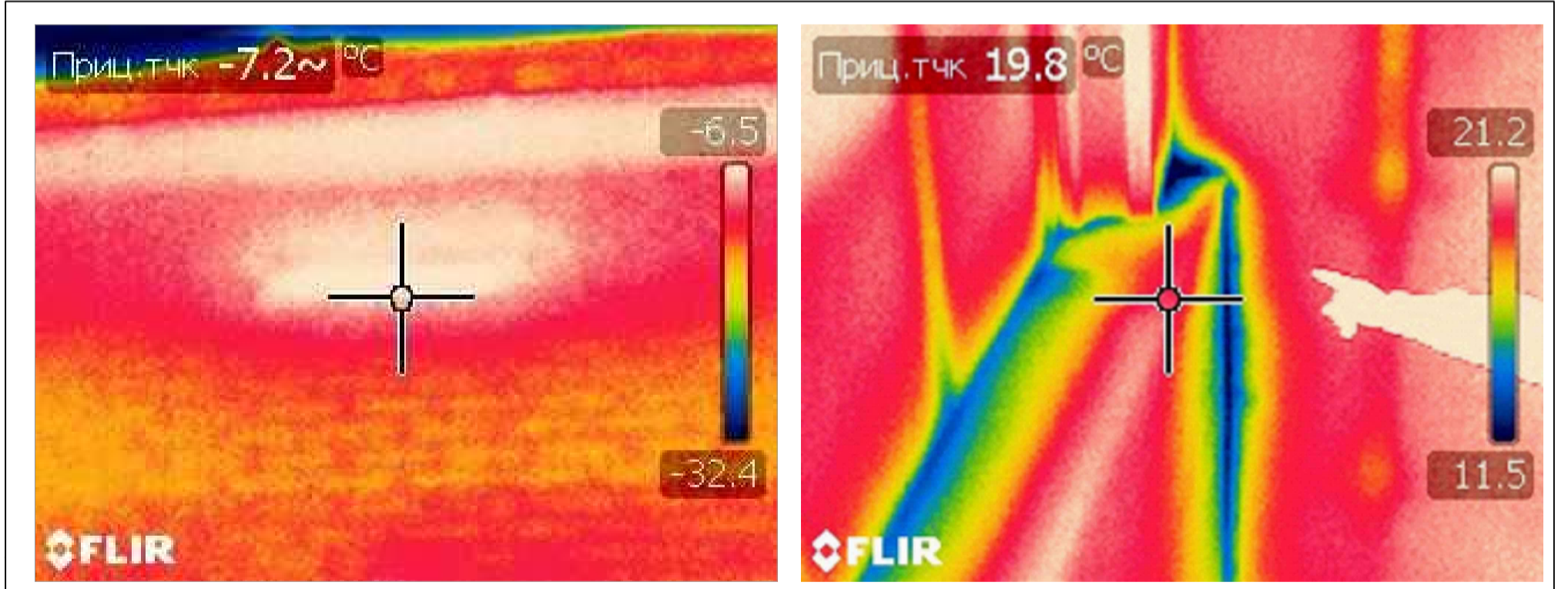


3.3) Далее вскрытая полость была утеплена новым теплоизолирующим минераловатным утеплителем «Isoverg». Снятие показаний тепловизора после работ по утеплению проводилось при температуре наружного воздуха  $t_n = -22^\circ\text{C}$ , при этом показания тепловизора практически остались на прежнем уровне. Разница температур поверхности кладки и утепленной полости составила  $5^\circ\text{C}$ , а температура поверхности угла мансарды имеет разницу  $1,7^\circ\text{C}$  по сравнению с первоначальными результатами.



Тепловизионные показатели снаружи и внутри помещения при  $t_n = -22^\circ\text{C}$ .

4) Для выявления влияния экономизерного эффекта, (вынос тепла из помещения при разности давлений внутреннего и наружного воздуха) и характера теплопотерь, проводилась фиксация значений тепловизора в ветреную погоду. Тепловизионная съемка проводилась при  $t_n = -12/-14^\circ\text{C}$  и скорости ветра  $16-18 \text{ м/с}$ . Во время ветрового давления движение тепловых потоков воздуха происходит практически по всей поверхности ограждающей конструкции. Данное явление говорит о низком качестве теплоизоляции и значительных движениях эксфильтрационных потоков через щели и пустоты ограждающей конструкции.



Тепловизионные показатели снаружи и внутри помещения при  $t_n = -12/14^\circ\text{C}$ .

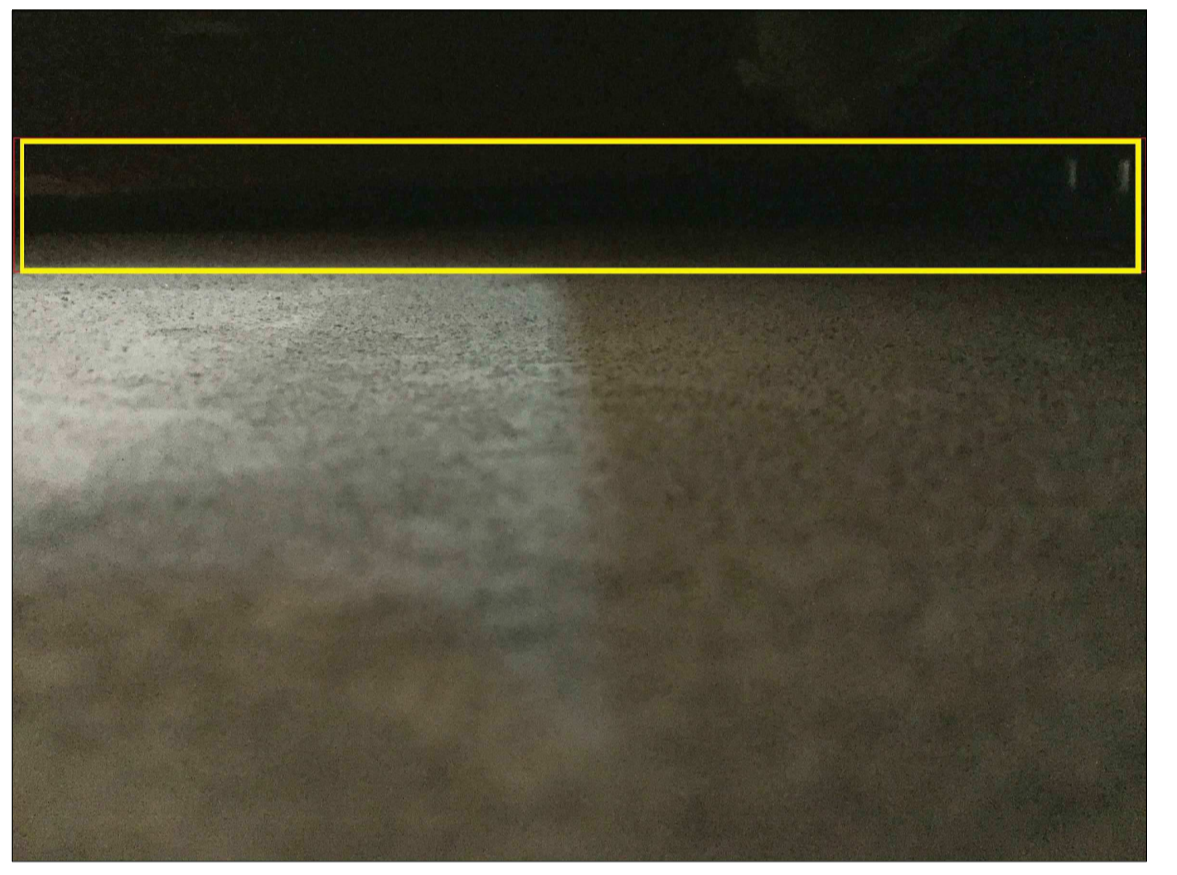
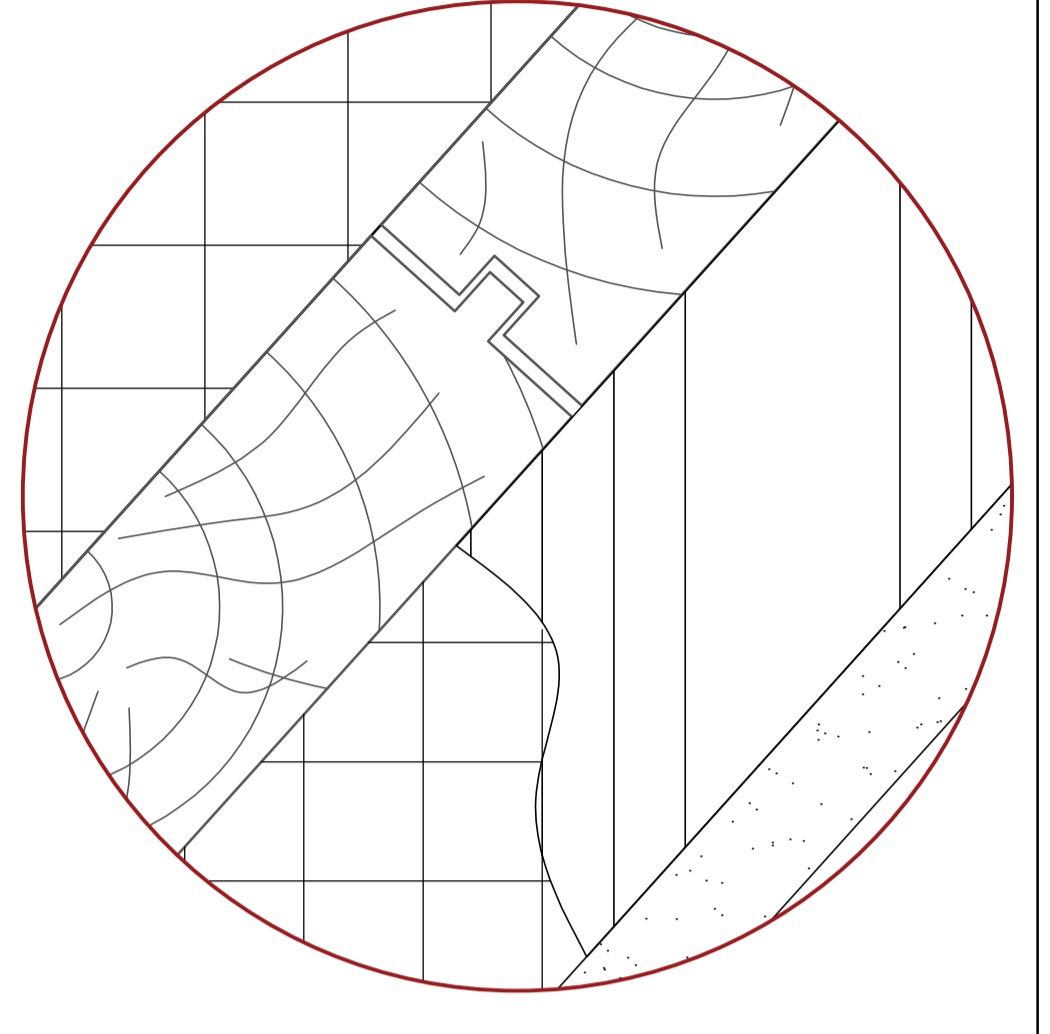
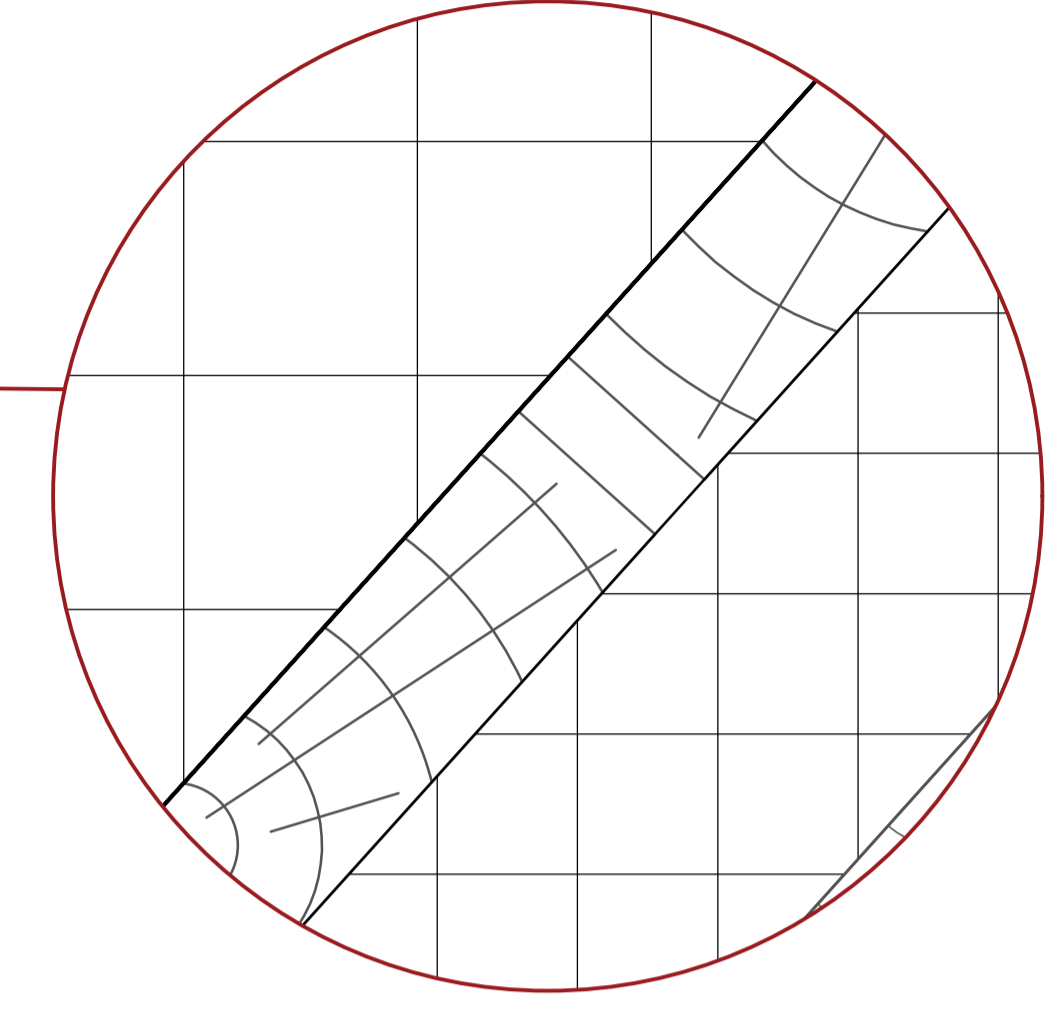
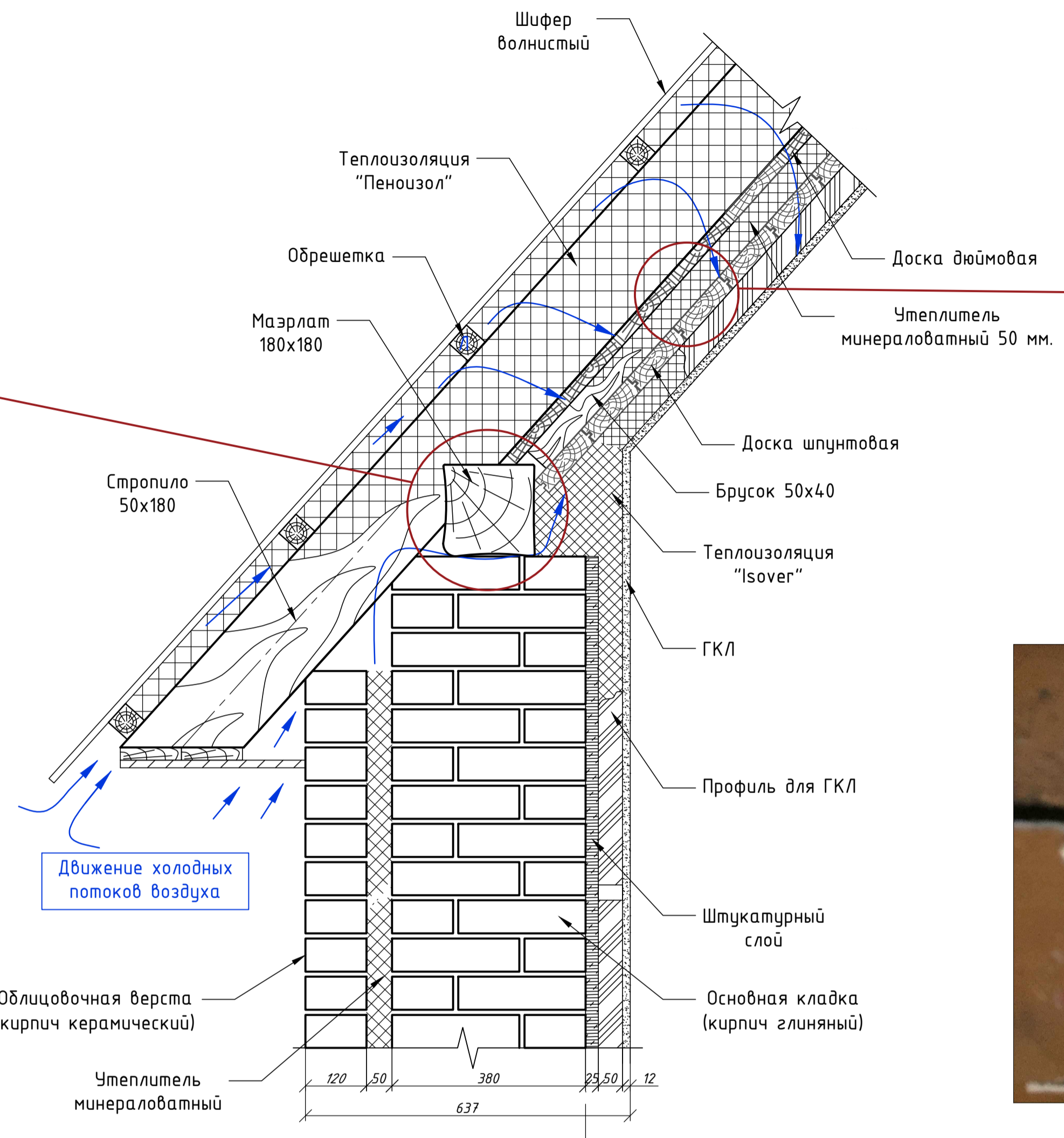
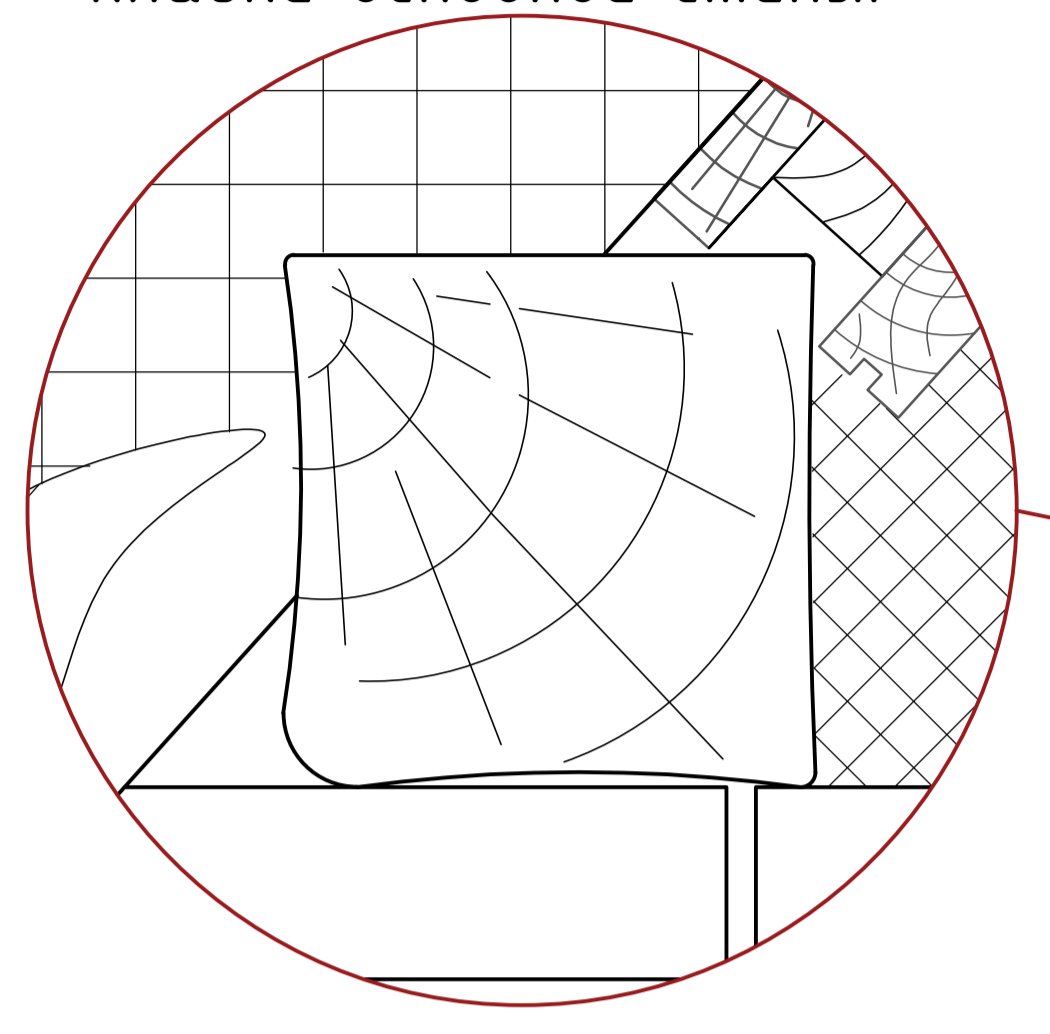
- 5) Анализ результатов эксперимента и выводы.
- Проведенный эксперимент выявил ряд конструктивных недостатков мансардного этажа с позиции энерго и теплосбережения.
1. Тепловизионное обследование с послойным вскрытием ограждающей конструкции стены выявило закономерность снижения свойств теплозащиты здания при неконтролируемом качестве укладки его теплоизоляции;
  2. Зафиксированы значительные эксфильтрационные теплопотери, во время действия на здание давления ветра, усиливающегося с наветренной стороны здания.

# Карнизный узел мансардного этажа

Дефекты бруса-мауэрлата в виде деформаций, способствующих образованию под ним негерметичных пустот.

Неплотное примыкание настила теплой кровли к кладке основной стены.

Дефекты устройства теплой кровли: низкая однородность теплоизоляции, щели и неплотности в примыканиях дощатого настила, влекущие к проникновению инфильтрационных потоков в помещение.



Неплотное примыкание настила теплой кровли к кирпичной кладке основной стены.

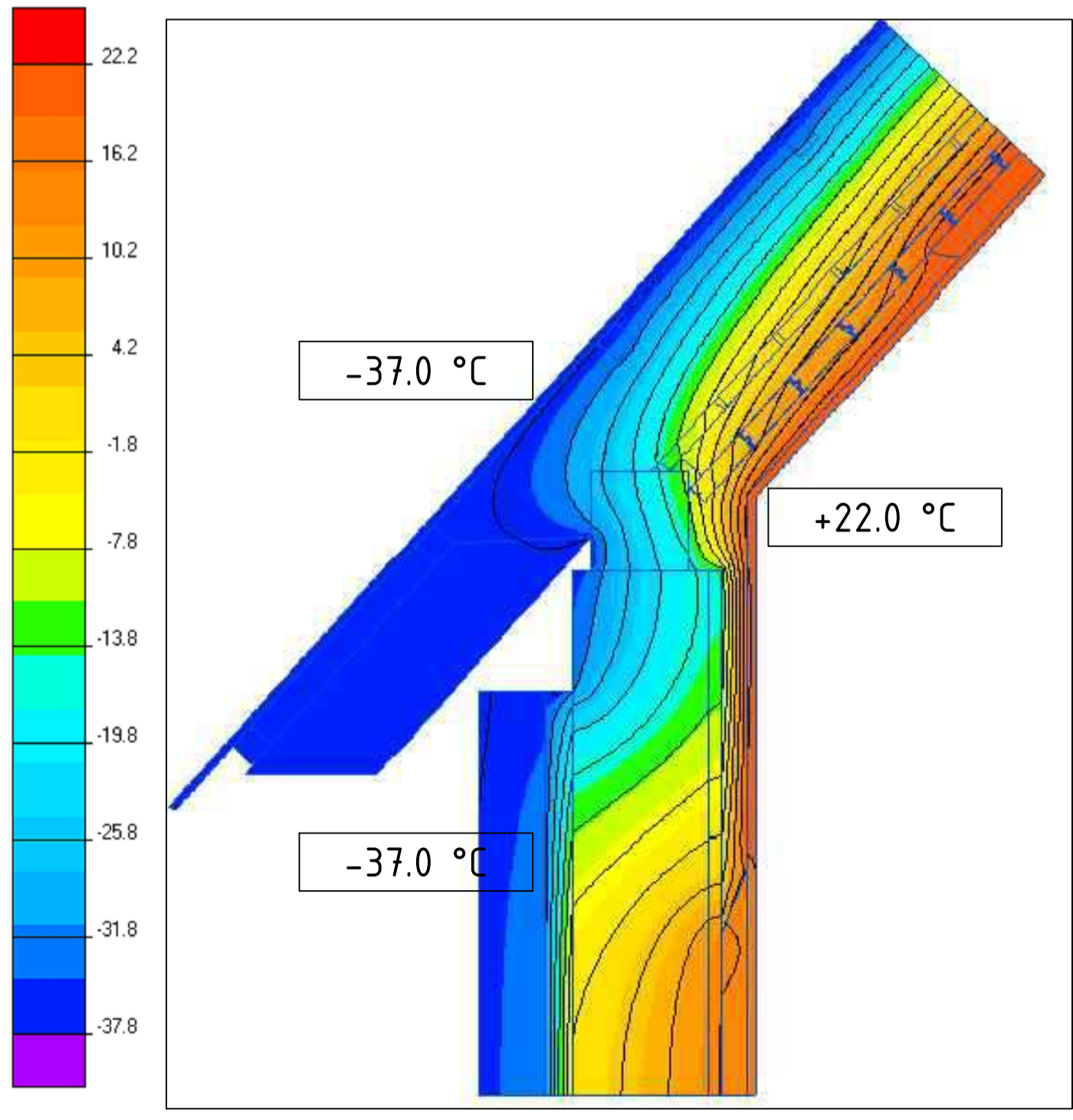


Наличие щелей и зазоров между первичным настилом из дюймовой доски.



Наличие щелей и зазоров между настилом из шпунтовых досок.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА УЗЛА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ELCUT PROFESSIONAL

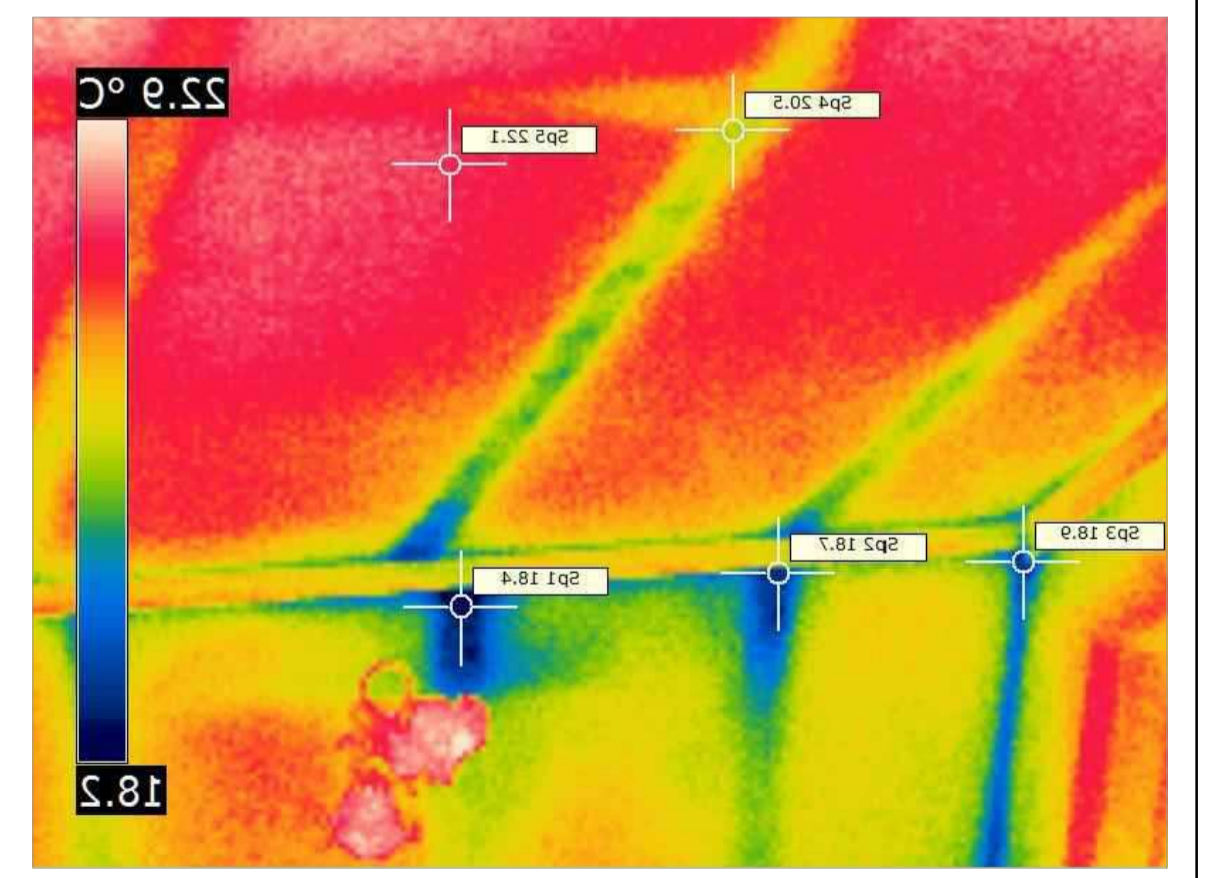


Теплотехнические характеристики материалов по направлению от внутреннего контура					
Наименование слоя	Толщина слоя, мм	Тепловой поток, Вт	Средняя температура поверхности, T <sub>s</sub> , °C	Температура внутри воздуха T <sub>b</sub> , °C	Температура внеш. воздуха T <sub>n</sub> , °C
ГКЛ	12	39.08	20.28	+22.0	-37.0
Теплоизоляция "Isover"	50	18.36	9.64		
Доска шпунтовая	36	11.72	8.55		
Минераловатный утеплитель	50	10.98	2.03		
Доска дюймовая	25	11.44	-12.03		
"Пеноизол"	≈150	3.32	-18.42		
Штукатурный слой	25	30.97	-0.31		

Теплотехнические характеристики материалов по направлению от внешнего контура					
Наименование слоя	Толщина слоя, мм	Тепловой поток, Вт	Средняя температура поверхности, T <sub>s</sub> , °C	Температура внутри воздуха T <sub>b</sub> , °C	Температура внеш. воздуха T <sub>n</sub> , °C
Шифер волнистый	6	3.48	-36.89	+22.0	-37.0
"Пеноизол"	≈150	3.47	-34.36		
Кладка облицовочная	125	14.57	-36.14		
Минераловатный утеплитель	50	14.73	-30.25		
Кладка стены	380	27.98	-15.16		
Брус-мауэрлат	180	150	-27.25		



Наличие пылеватых отложений в утеплителе.



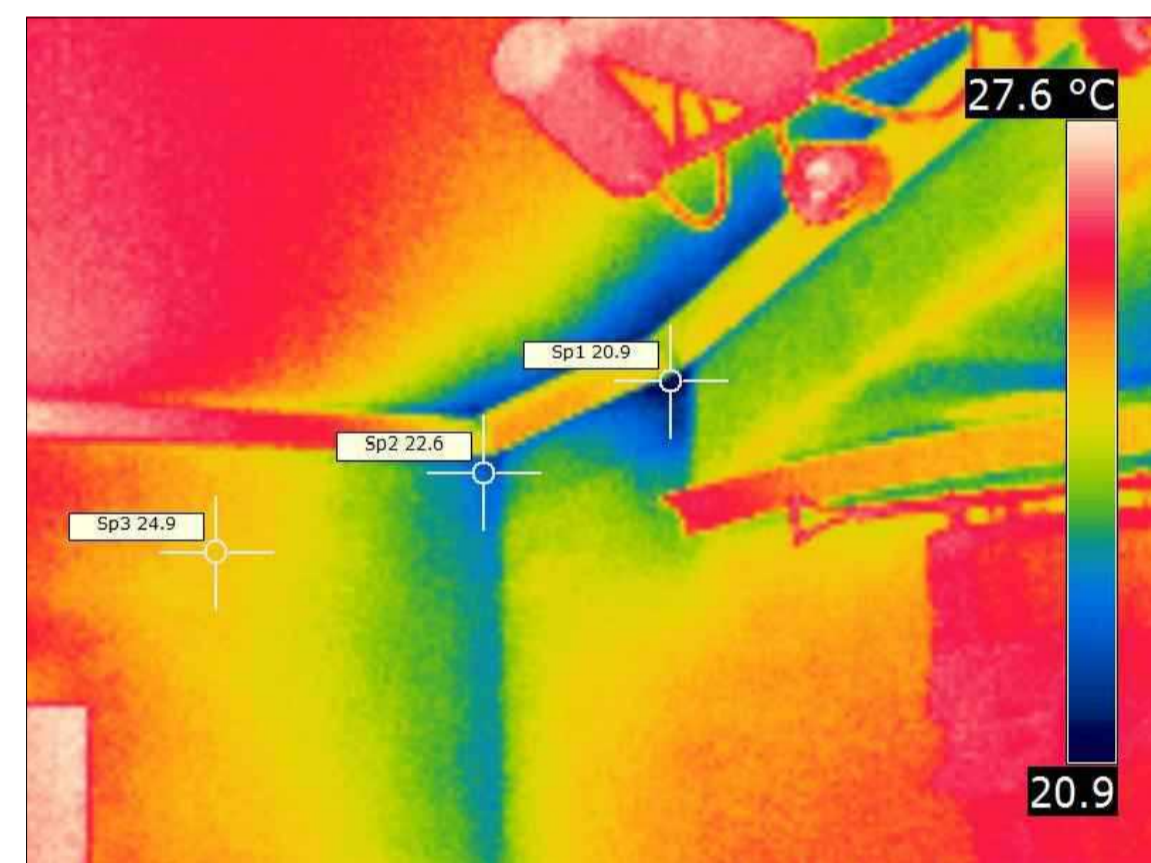
Результат тепловизионной съемки карнизного узла.

# Коньковый узел мансардного этажа, перекрытие мансардного этажа

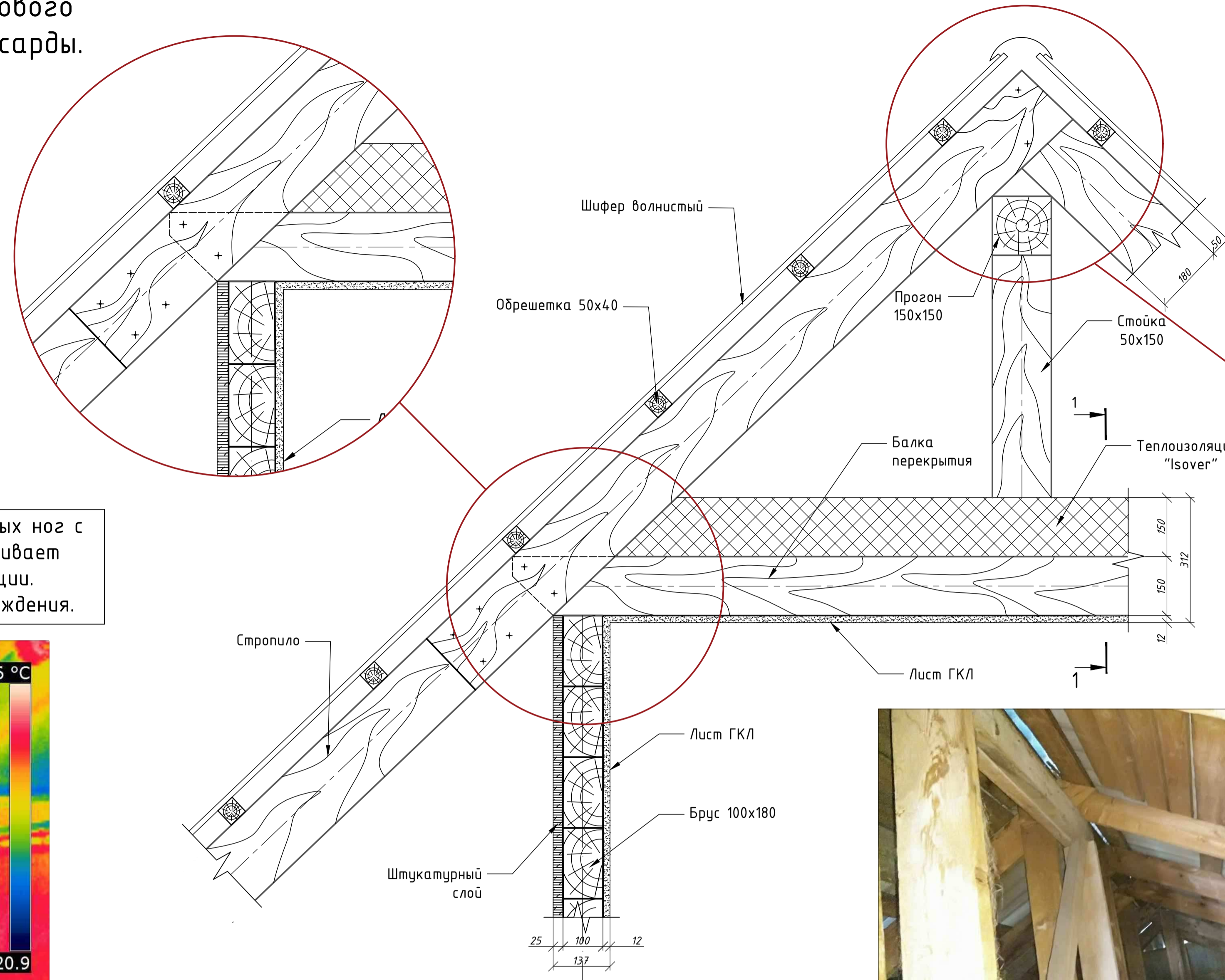
Дефекты устройства стенового ограждения помещения мансарды.



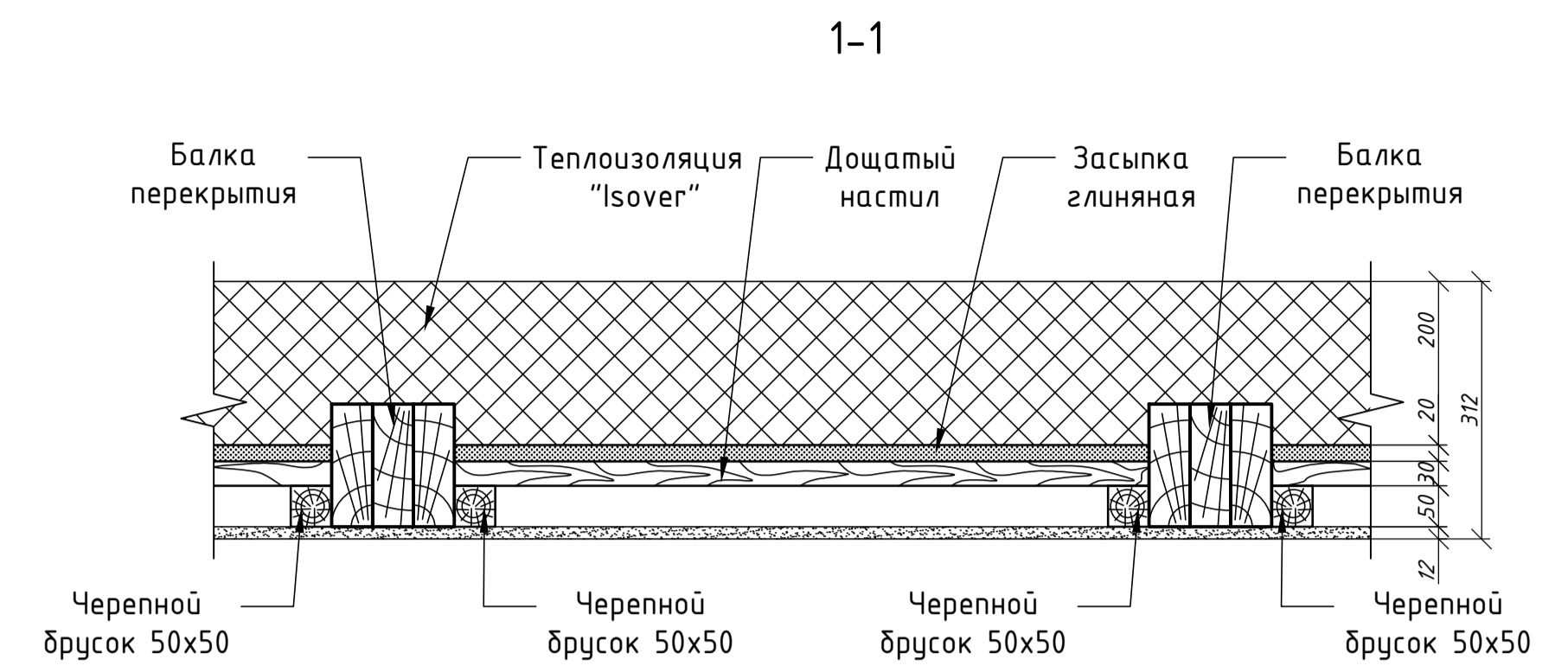
Шарнирное сопряжение наслонных стропильных ног с балками перекрытия мансарды не обеспечивает достаточной жесткости всей конструкции. Отсутствие теплоизоляции стенового ограждения.



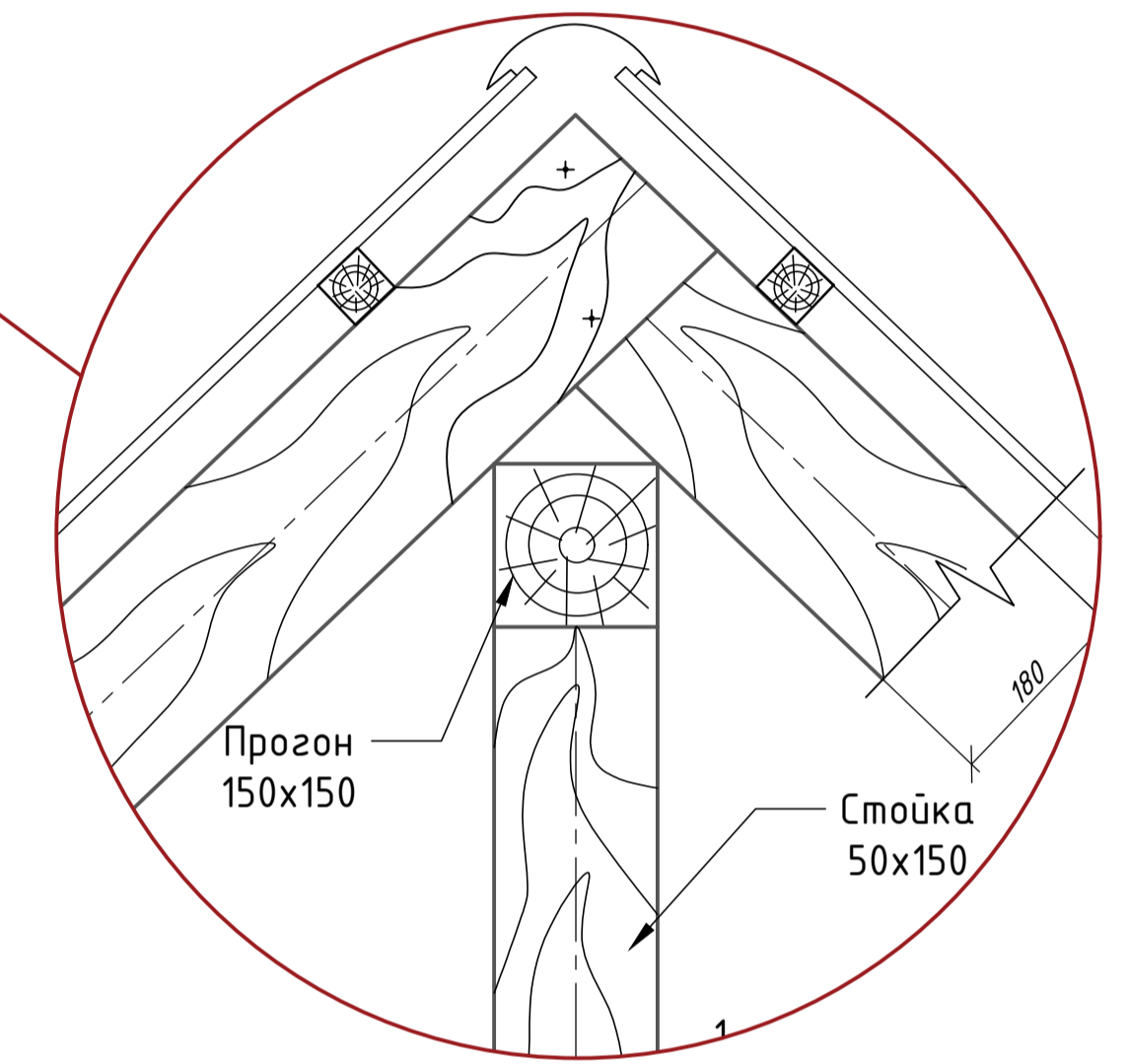
Результат тепловизионной съемки перекрытия мансардного этажа при  $t_n = -20^\circ\text{C}$



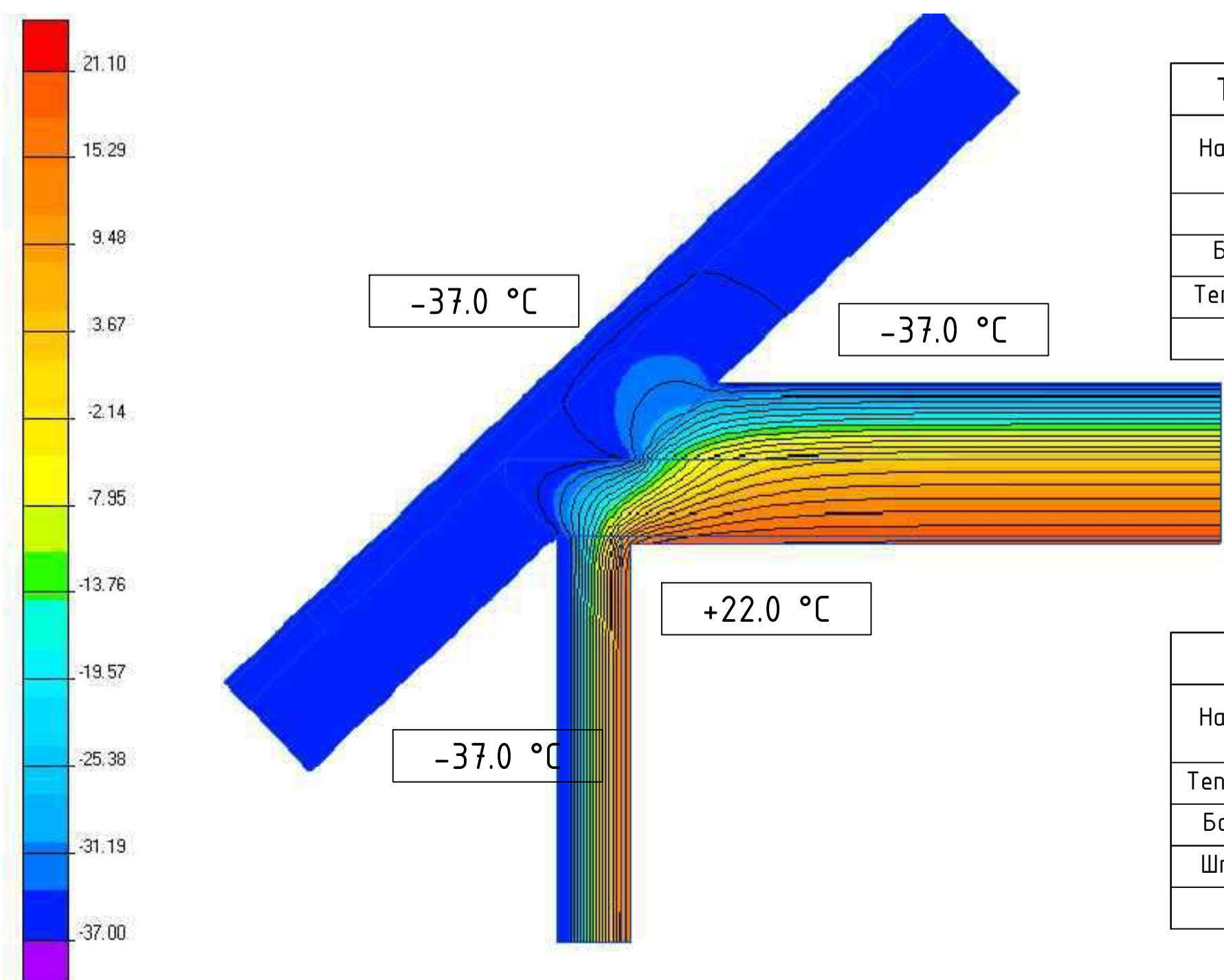
Шарнирное сопряжение стропильных ног конькового узла мансарды. Отсутствие затяжки в конструкции стропильных ног не обеспечивает необходимой жесткости конструкции в продольном направлении.



Дефекты конькового узла.

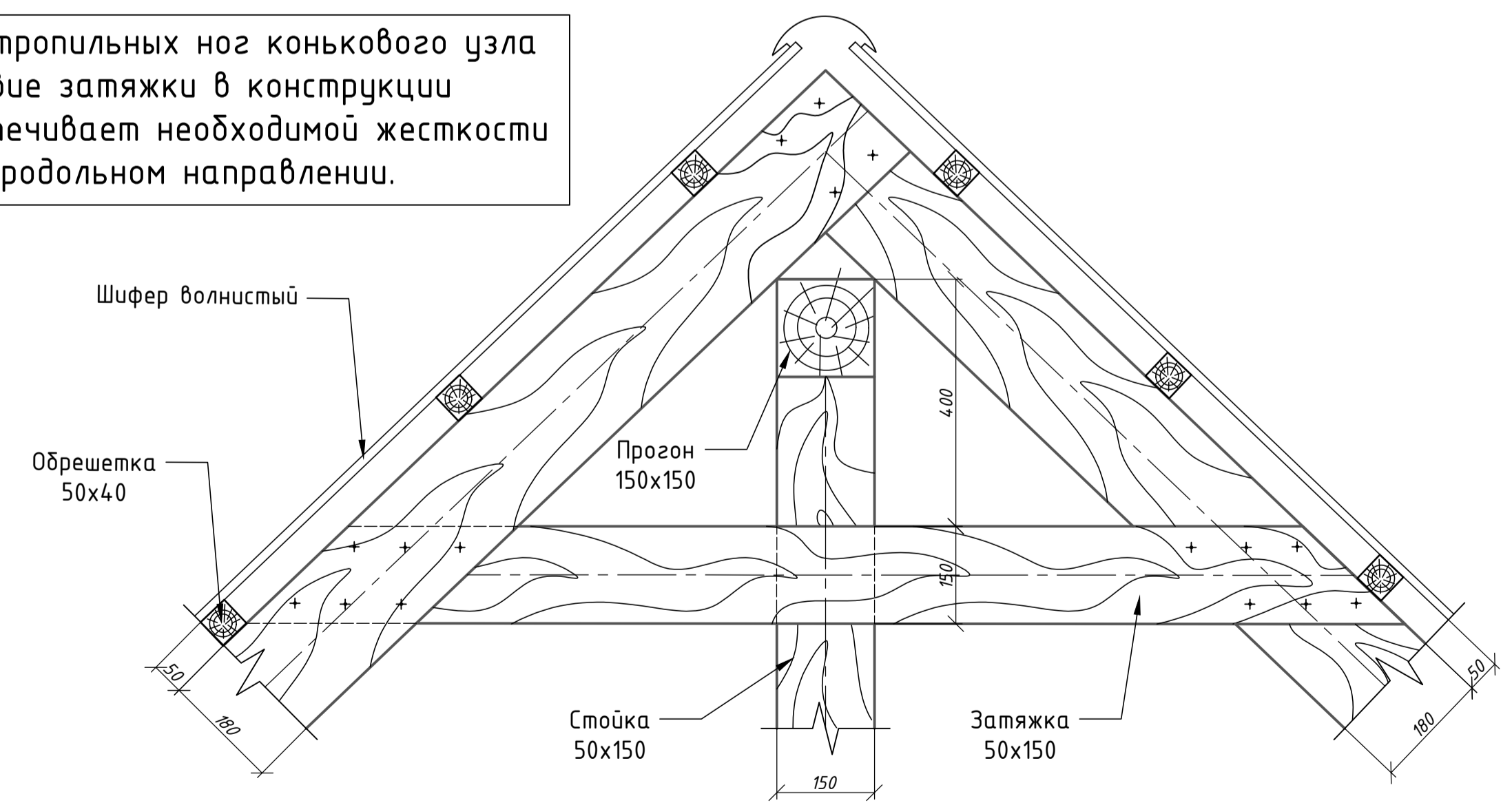


## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА УЗЛА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ELCUT PROFESSIONAL



Наименование слоя	Толщина слоя, мм	Тепловой поток, Вт	Средняя температура поверхности, $T_s$ , °C	Температура внутр. воздуха $T_b$ , °C	Температура внеш. воздуха $T_n$ , °C
ГКЛ	12	49.82	20.03	+22.0	-37.0
Балка перекрытия	180	16.21	15.27		
Теплоизоляция "Isover"	150	11.67	0.57		
Брус сосновый	100	34.32	12.94		

Наименование слоя	Толщина слоя, мм	Тепловой поток, Вт	Средняя температура поверхности, $T_s$ , °C	Температура внутр. воздуха $T_b$ , °C	Температура внеш. воздуха $T_n$ , °C
Теплоизоляция "Isover"	150	9.60	-36.55	+22.0	-37.0
Балка перекрытия	180	15.33	-3.89		
Штукатурный слой	25	33.83	-35.17		
Брус сосновый	100	33.78	-33.85		



В качестве решения по обеспечению жесткости коньковой части конструкции кровли, необходимо обеспечить ее геометрическую неизменяемость в продольном направлении при помощи устройства деревянной затяжки из доски 5x150. Крепление доски к стропильным ногам осуществить при помощи перекрестного гвоздевого забоя.



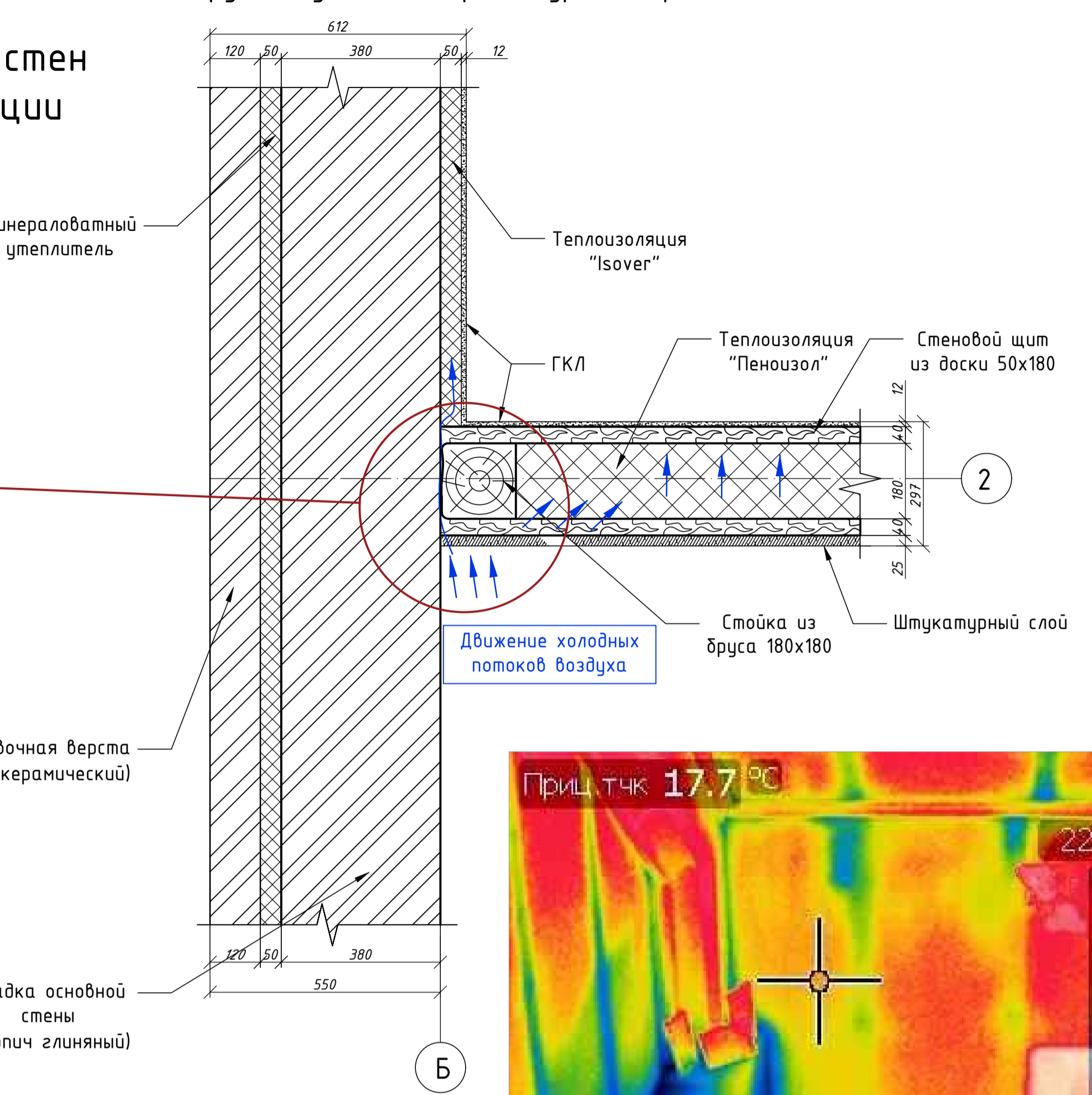
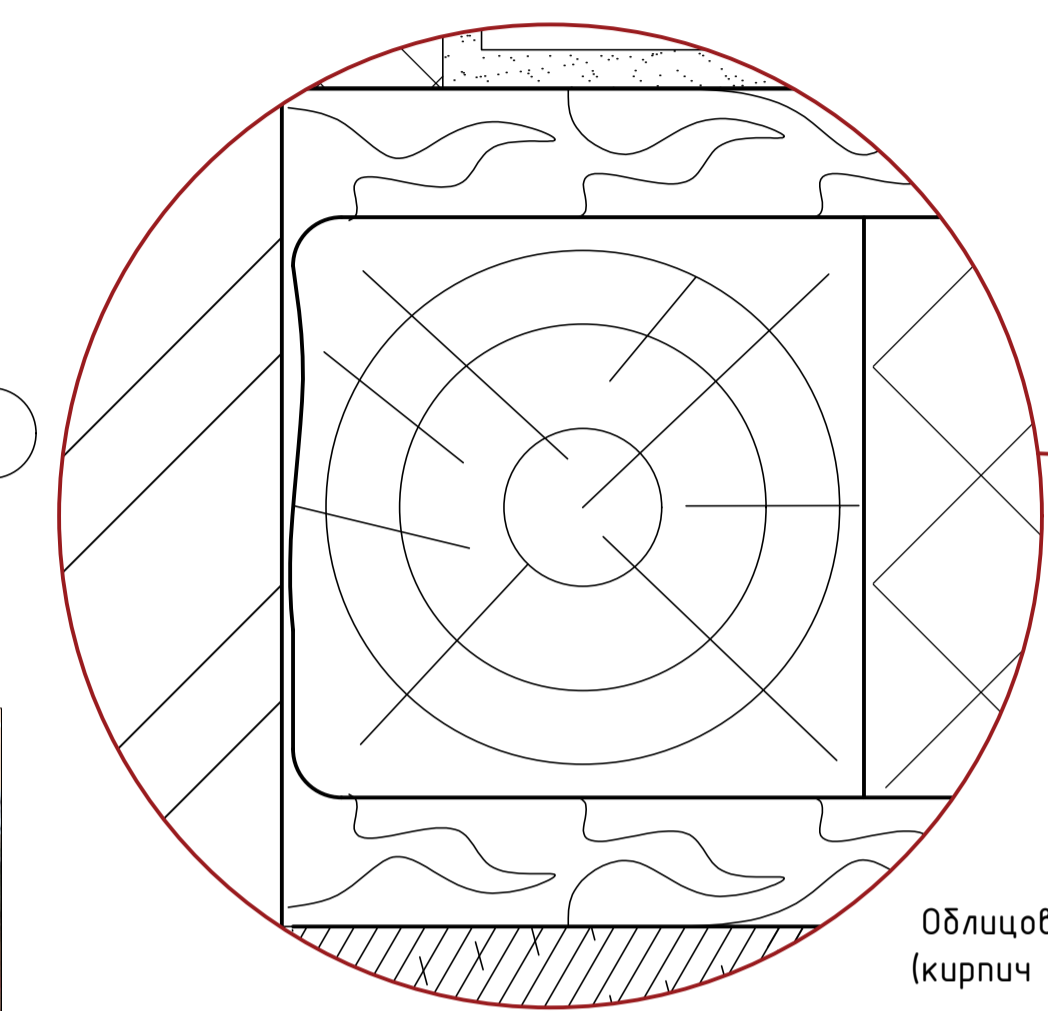
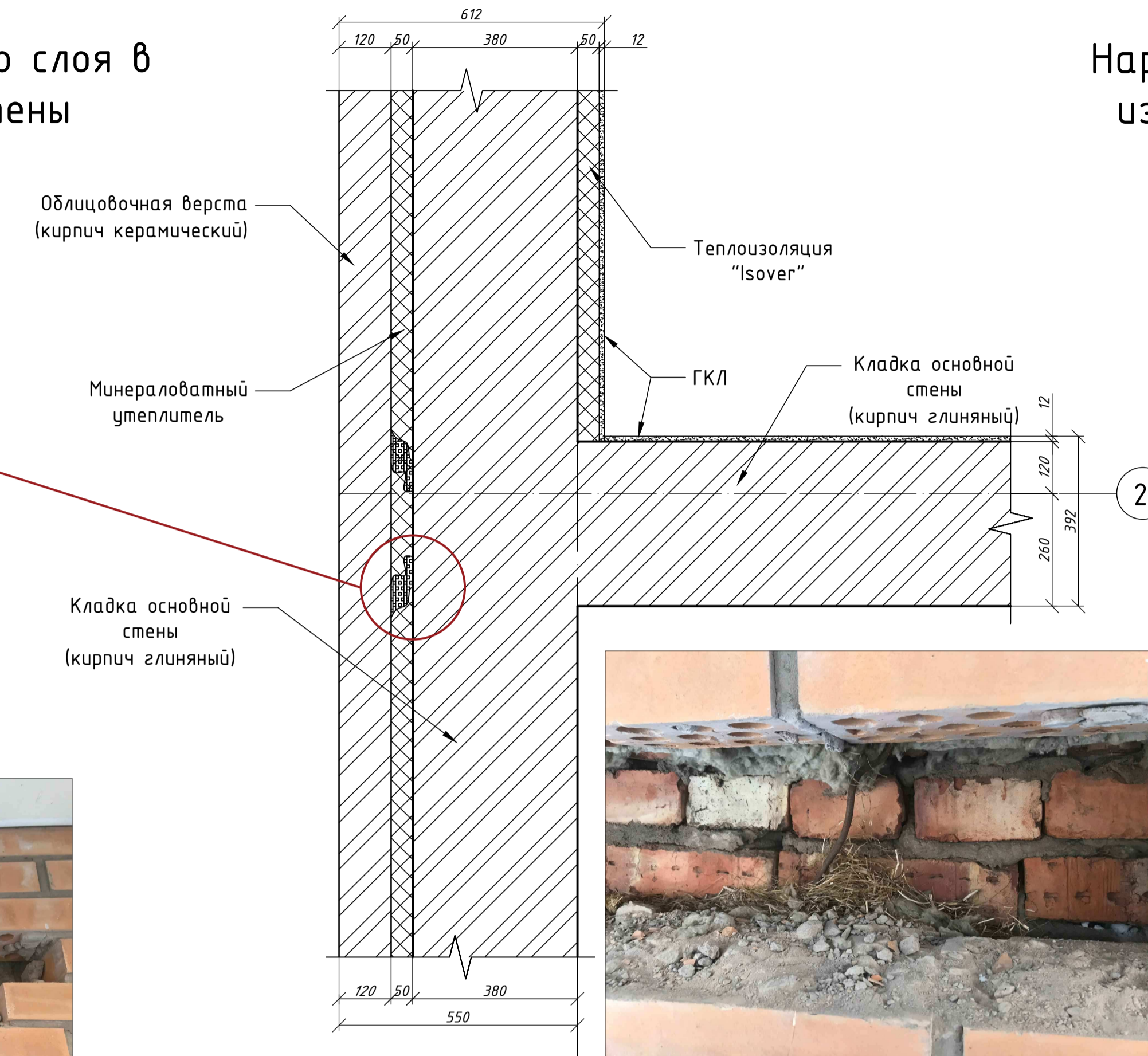
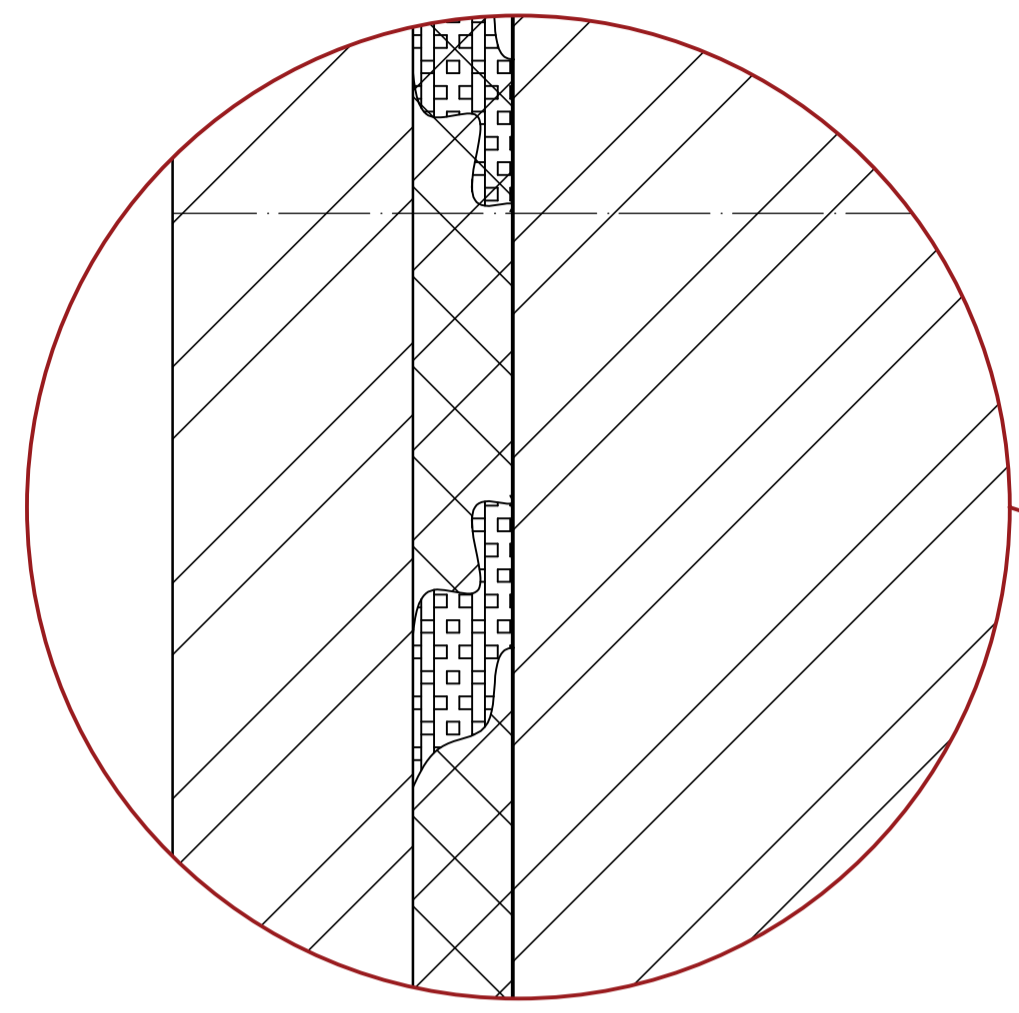
# Узел примыкания наружных стен мансардного этажа

Конструкция угла мансарды в уровне лестничного марша.

Конструкция угла мансарды в уровне кровли.

Дефекты теплоизоляционного слоя в конструкции основной стены

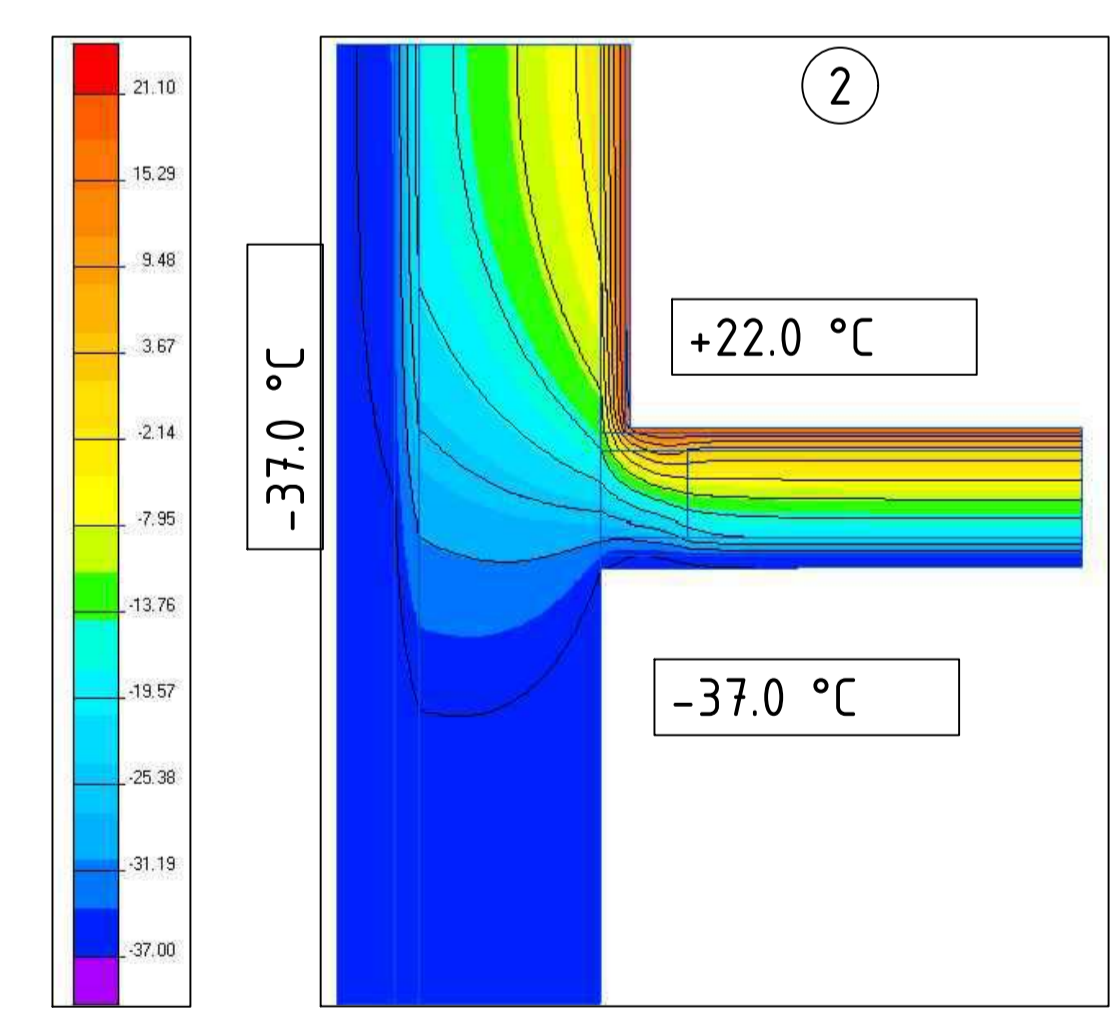
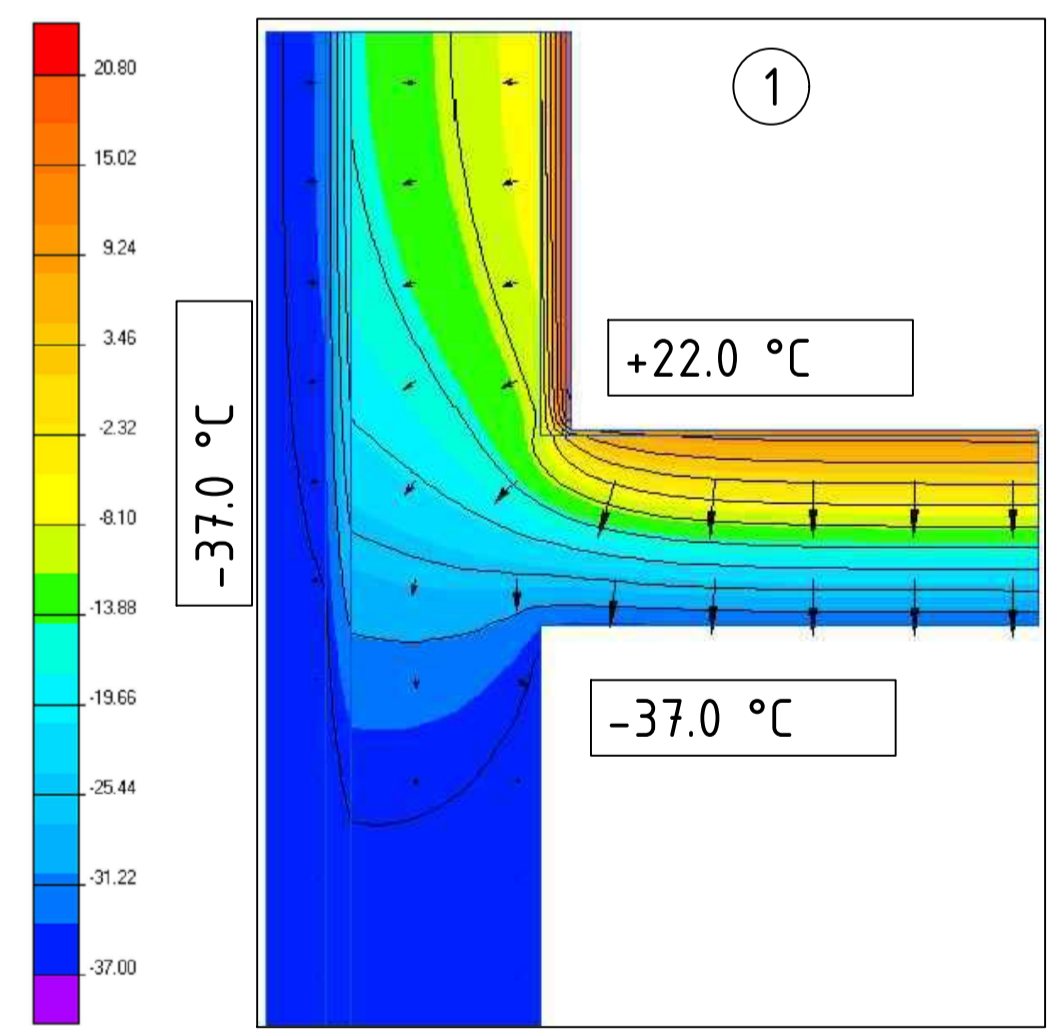
Нарушение герметичности стыка стен из разных материалов. Деформации стойки из бруса.



Дефекты кирпичной кладки: неоднородность швов, наличие пустот между кирпичами.

Низкое качество теплоизолирующего слоя: деструкция, неоднородность, низкое качество его укладки.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА УЗЛА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ELCUT PROFESSIONAL



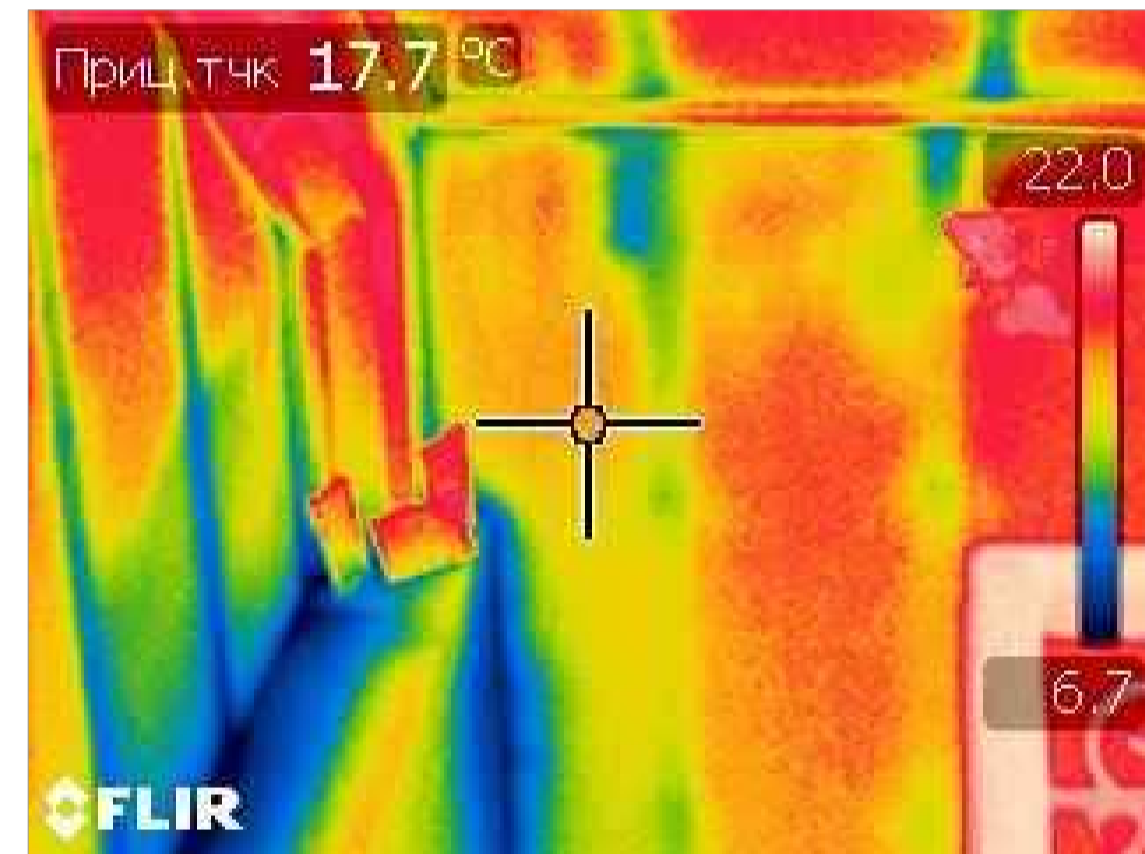
Наименование слоя	Толщина слоя, мм	Тепловой поток, Вт	Средняя температура поверхности, T <sub>s</sub> , °C	Температура внутр. воздуха T <sub>в</sub> , °C	Температура внеш. воздуха T <sub>н</sub> , °C
Кладка облицовочная	125	12.53	-36.73	+22.0	-37.0
Минераловатный утеплитель	50	12.53	-35.47		
Кладка стены	380	12.54	18.59		
Штукатурный слой	25	32.48	-32.50		
Стеновой щит из доски	40	31.59	-29.66		
"Пеноизол"	180	28.82	-18.83		

Наименование слоя	Толщина слоя, мм	Тепловой поток, Вт	Средняя температура поверхности, T <sub>s</sub> , °C	Температура внутр. воздуха T <sub>в</sub> , °C	Температура внеш. воздуха T <sub>н</sub> , °C
ГКЛ	12	48.95	19.75	+22.0	-37.0
Теплоизоляция "Isover"	50	15.44	14.33		
Кладка стены	380	15.84	-6.77		
Стеновой щит из доски	40	33.88	10.95		
"Пеноизол"	180	29.42	1.39		

Наименование слоя	Толщина слоя, мм	Тепловой поток, Вт	Средняя температура поверхности, T <sub>s</sub> , °C	Температура внутр. воздуха T <sub>в</sub> , °C	Температура внеш. воздуха T <sub>н</sub> , °C
ГКЛ	12	101.07	16.29	+22.0	-37.0
Теплоизоляция "Isover"	50	16.23	13.61		
Кладка стены	380	101.53	0.64		

Наименование слоя	Толщина слоя, мм	Тепловой поток, Вт	Средняя температура поверхности, T <sub>s</sub> , °C	Температура внутр. воздуха T <sub>в</sub> , °C	Температура внеш. воздуха T <sub>н</sub> , °C
Кладка облицовочная	125	15.82	-36.66	+22.0	-37.0
Минераловатный утеплитель	50	15.82	-30.65		
Кладка стены	380	15.81	-25.61		

Результаты тепловизионной съемки угла мансарды при t<sub>н</sub> = -30 °C.



Результаты тепловизионной съемки угла мансарды при t<sub>н</sub> = -22 °C.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1) Современные технологии возведения мансард в частном домостроении несовершенны и характеризуются значительными дефектами на стадии строительства. На основе анализа литературных источников выявлены основные технологии и условия проектирования энергосберегающих зданий.
- 2) Проведено обследование эксплуатируемого мансардного этажа, в ходе которого выявлены конструкционные недостатки, влияющие на надежность теплозащиты здания. Зафиксированы факты движения инфильтрационных потоков через щели и неплотности в слоях многослойной конструкции теплой кровли. Проведен расчет количества инфильтрационного потока, который выявил значительные показатели количества потока воздуха на  $1 \text{ м}^2$  площади ограждающей конструкции.
- 3) Разработана методика мониторинга теплопотерь, заключающаяся в послойной тепловизионной съемке при разных погодных условиях, на основе которой сделаны выводы о низкой эффективности теплоизолирующего слоя в ограждающей конструкции мансардного этажа, рассматриваемого объекта.
- 4) На основе программного моделирования теплового контура узлов мансарды в расчетной программе Elcut Professional выполнена оценка влияния конструктивной схемы на теплотехнические параметры. Предложены рекомендации по усилению конструктивной схемы теплой кровли и устранению мостов холода в узлах мансардного этажа. Совершенствование конструктивных решений ограждающих конструкций мансардного этажа приводит к снижению трансмиссионных и конвекционных теплопотерь и расхода энергии на отопление в процессе эксплуатации здания. Таким образом, снижение факторов потерь теплоты через мосты холода, щели и неплотности в ограждающих конструкциях имеет потенциал к энергосбережению.

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

Хакасский технический институт-филиал СФУ  
Институт

Строительство  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

  
Г.Н.Шибаета  
подпись инициалы, фамилия

«15» 06 2019 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

«Оптимизация архитектурных, конструктивных и теплотехнических узлов при  
создании мансардных этажей»

тема

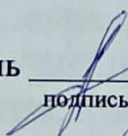
08.04.01. Строительство

код и наименование направления подготовки

08.04.01.03 Теория и проектирование зданий и сооружений

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель

  
подпись, дата


К.Т.Н., доцент

должность, учёная степень

О.З. ХАЛИМОВ

инициалы, фамилия


Выпускник

  
подпись, дата

А.А. Арнгольд

инициалы, фамилия


Рецензент

  
подпись, дата

д.т.н., доцент  
Ф.Ф. Назаров

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

  
подпись, дата

ст.т.ч. доцент  
Шибаета Г.Н.

инициалы, фамилия

Абакан 2019

**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)

\_\_\_\_\_ Шибоевой Галины Николаевны  
(фамилия, имя, отчество заведующего кафедрой)

Рассмотрев магистерскую диссертацию студента группы № 37-3

\_\_\_\_\_ Арггольд Александра Александровича  
(фамилия, имя, отчество студента)

Выполненную на тему: «Оптимизация архитектурных, конструктивных и теплотехнических узлов при создании мансардных этажей»

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


С использованием ЭВМ: Microsoft Office Word 2010, Microsoft Office Excel 2010, AutoCAD 2017, программного комплекса EICUT professional.

(название задачи, если имеется)

Положительные стороны работы: исследованы конструкционные недостатки узлов мансардного этажа эксплуатируемого здания; выявлены причины несовершенства проектных решений; разработана методика тепломониторинга зданий; на основе компьютерного моделирования в программном комплексе Elcut proffessional получены теплотехнические характеристики узлов мансарды и выявлены их основные мосты холода, даны рекомендации по устранению основных недостатков; выявленные в процессе исследования мансардного этажа дефекты, могут быть положены в классификацию типологии дефектов теплопотерь объектов недвижимости.

В объеме 93 листов магистерской диссертации, отмечается, что работа выполнена в соответствии с установленными требованиями и допускается кафедрой к защите.


Зав. Кафедрой Г.Н. Шибоева

«25» 06  2019 г.

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

Хакасский технический институт-филиал СФУ

Институт  
Строительство  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
 Г.Н. Шибаета  
подпись инициалы, фамилия  
«28» 09 2017 г.

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

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

Студенту: Арнгольд Александру Александровичу  
(фамилия, имя, отчество студентки)

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

Теория и проектирование зданий и сооружений  
(наименование)

Тема выпускной квалификационной работы:  
«Оптимизация архитектурных, конструктивных и теплотехнических узлов при создании мансардных этажей»

Утверждена приказом по университету №623 от 28.09.2017

Руководитель МД О.З. Халимов к.т.н., доцент.

Исходные данные для МД Теоретические и практические исследования узлов мансарды в области обеспечения их конструктивной и теплотехнической надежности.

Перечень разделов МД Аналитический литературный обзор;

Экспериментальные методы исследований; Численные методы исследований.

Перечень графического или иллюстративного материала с указанием основных чертежей, плакатов, слайдов 9 плакатов формата А1

Научный руководитель

Задание принял к исполнению

 28.09.17  
подпись, дата  
 28.09.17  
подпись, дата

О.З. Халимов  
инициалы, фамилия  
А.А. Арнгольд  
инициалы, фамилия

«28» 09 2017 г.

## АННОТАЦИЯ

на магистерскую диссертацию Арнгольд Александра Александровича  
(фамилия, имя, отчество)

на тему: **«Оптимизация архитектурных, конструктивных и теплотехнических узлов при создании мансардных этажей»**

Актуальность тематики и её значимость – Актуальность работы заключается в выявлении дефектов теплозащиты мансардных этажей, в климатических условиях республики Хакасия и юга Красноярского края.

Использование ЭВМ: Во всех основных главах магистерской диссертации, использованы стандартные и специальные строительные программы ЭВМ: Microsoft Office Word 2010, Microsoft Office Excel 2010, AutoCAD 2019, Elcut professional.

Качество оформления: Магистерская диссертация выполнена с высоким качеством на ЭВМ. Распечатка диссертации сделана на лазерном принтере с использованием цветной печати для большей наглядности диаграмм, графиков и схем. Разработано согласно СТО 4.2.07-2014.

Оценка достигнутого результата: Цели и задачи магистерской диссертации были достигнуты и решены.

Освещение результатов работы: Результаты исследований и новые технические и конструктивные решения изложены последовательно, носят конкретный характер и отражают все этапы исследования.

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

Автор магистерской диссертации

  
\_\_\_\_\_ подпись

А.А. Арнгольд  
(фамилия, имя, отчество)

Научный руководитель

  
\_\_\_\_\_ подпись

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

## ABSTRACT

of the master thesis by Arngold Aleksandr Aleksandrovich

(surname, first name, patronymic)

Theme: **"Optimization of architectural, constructive and heat engineering units when creating attic floors"**

Relevance of the topic and its importance: Relevance of the work is to identify defects in thermal protection of attic floors in the climatic conditions of the Republic of Khakassia and the south of the Krasnoyarsk Territory.

Usage of computer: In all major chapters of the master thesis, standard and special computer construction programs were used: Microsoft Office Word 2010, Microsoft Office Excel 2010, AutoCAD 2017, Elcut professional.

Quality of presentation: The master thesis was performed with high quality on a computer. The thesis was printed on a laser printer using color printing for greater visibility of diagrams, graphs and schemes. The thesis was developed according to the STO 4.2.07-2014.

Evaluation of the achieved result: The goals and objectives of the master thesis were achieved and solved.

Coverage of the results: Research results and new technical and constructive solutions are presented consistently, are specific and highlight all the stages of the study.

Degree of authorship: Master thesis was done by me on my own. The materials and concepts used in the work from published scientific literature and other sources have links to them.

Author of the master thesis

Scientific adviser

  
signature  
  
signature

Arngold A.A.

(surname, first name, patronymic)

Chalimov O.Z.

(surname, first name, patronymic)