

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

«Анализ причин возникновения дефектов и повреждений сэндвич-панелей в эксплуатируемых зданиях»
тема

08.04.01. Строительство
Код и наименование направления

08.04.01.03 Теория и проектирование зданий и сооружений
Код и наименование магистерской программы

Научный руководитель _____ к.т.н., доцент Г.Н. Шибеева
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник _____ Е.В. Афанасьева
подпись, дата инициалы, фамилия

Рецензент _____ Директор НО «МЖФ г. Абакана» В.Н. Хамин
подпись, дата должность инициалы, фамилия

Нормоконтролер _____ к.т.н., доцент Г.Н. Шибеева
подпись, дата должность, ученая 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)

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

Рассмотрев магистерскую работу студента группы № 37-3

Афанасьевой Елены Витальевны
(фамилия, имя, отчество студента)

Выполненную на тему «Анализ причин возникновения дефектов и
повреждений сэндвич-панелей в эксплуатируемых зданиях»

По реальному заказу _____
(указать заказчика, если имеется)

С использованием ЭВМ: Microsoft Office Word 2010, Microsoft Office Excel
2010, AutoCAD2014, Internet Explorer, программный комплекс ELCUT
Professional

Положительные стороны работы исследованы проблемы при эксплуатации
сэндвич-панелей, даны практические рекомендации по устранению дефектов

В объеме 116 листов магистерской работы, отмечается, что работа
выполнена в соответствии с установленными требованиями и допускается
кафедрой к защите.

Зав. кафедрой _____ Г.Н. Шибяева

« » _____ 2019 г.

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

«__» _____ 201__ г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

в форме: магистерской диссертации

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

Студентке: Афанасьевой Елены Витальевны

(фамилия, имя, отчество студентки)

Группа 37-3 Направление (специальность) 08.04.01.03

(код)

Теория и проектирование зданий и сооружений

(наименование)

Тема выпускной квалификационной работы: «Анализ причин

возникновения дефектов и повреждений сэндвич-панелей в

эксплуатируемых зданиях»

Утверждена приказом по университету №623 от 28.09.2017

№779 от 19.10.2018

Руководитель МД Г.Н. Шибаета к.т.н., доцент, зав.кафедрой, ХТИ-филиал СФУ

Исходные данные для МД Теоретические исследования в области

применения сэндвич-панелей

Перечень разделов МД Аналитический литературный обзор,

исследование в области проблем при эксплуатации сэндвич-панелей,

теоретическое исследования в программном комплексе ELCUT

Перечень графического или иллюстративного материала с указанием основных
чертежей, плакатов, слайдов 8 плакатов А1

Научный руководитель

Г.Н. Шибаета

инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

Е.В. Афанасьева

инициалы, фамилия

«__» _____ 2019 г.

АННОТАЦИЯ

На магистерскую диссертацию

Афанасьевой Елены Витальевны

(фамилия, имя, отчество)

По теме: «Анализ причин возникновения дефектов и повреждений сэндвич-панелей в эксплуатируемых зданиях»

Актуальность тематики и ее значимость: Совершенствование легких ограждающих конструкций представляет собой большой интерес при возведении малоэтажных зданий. Одним из важнейших путей экономии топливно-энергетических ресурсов является сокращение тепловых потерь через ограждающие конструкции зданий. Применение высокоэффективных теплоизоляционных, огнеупорных материалов позволяют создавать легкие ограждающие конструкции, отвечающие современным требованиям архитектуры, а также позволяют сократить эксплуатационные затраты зданий за счет снижения теплопотерь через наружные ограждения.

Использование ЭВМ: Во всех основных главах магистерской диссертации использованы стандартные и специальные строительные программы Microsoft Office Word 2010, Microsoft Office Excel 2010, AutoCAD2014, Internet Explorer, программный комплекс 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 изложены последовательно, носят конкретный характер и освещают 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, дата

Е.В. Афанасьева

инициалы, фамилия

Научный руководитель

подпись, дата

Г.Н. Шibaева

инициалы, фамилия

ANNOTATION

On the master's thesis

Afanaseva Elena Vitalevna
(Full Name)

On the topic: "Analysis of the causes of defects and damage
sandwich panels in buildings in operation »

The relevance of the subject and its significance: The improvement of light envelopes is of great interest in the construction of low-rise buildings. One of the most important ways to save fuel and energy resources is to reduce heat losses through the building envelope. The use of highly effective heat-insulating, refractory materials allow creating light enclosing structures that meet the modern requirements of architecture, as well as reduce the operating costs of buildings by reducing heat loss through external fencing.

Computer use: Standard and special building programs Microsoft Office Word 2010, Microsoft Office Excel 2010, AutoCAD2014, Internet Explorer, ELCUT Professional software package were used in all major chapters of the master's thesis.

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 HUNDRED 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: The research results 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

The author of the master's thesis

signature date

E.V. Afanaseva
initials, surname

Scientific adviser

signature date

G.N. Shibaeva
initials, surname

ОТЗЫВ
НА МАГИСТЕРУЮ ДИССЕРТАЦИЮ
Афанасьевой Елены Витальевны
Хакасского технического института – филиала СФУ
Кафедра «Строительство»

Выполненная магистерская диссертация на тему: «Анализ причин возникновения дефектов и повреждений сэндвич-панелей в эксплуатируемых зданиях» является актуальной работой, в которой решаются вопросы совершенствования узловых соединений ограждающих конструкций из сэндвич-панелей, представляющий собой большой интерес для проектировщиков при строительстве малоэтажных быстровозводимых зданий.

За время обучения в магистратуре по направлению 08.04.01 «Строительство» по магистерской программе 08.0.01.03 «Теория и проектирование зданий и сооружений», магистрантка показала себя грамотной, организованной, целеустремленной, подготовленной к проведению серьезных научных исследований, о чем свидетельствует магистерская работа, публикации научных статей, доклады на научно-практических конференциях.

Сформированы цель, задачи на основе обследования эксплуатируемых зданий с ограждающими конструкциями из сэндвич-панелей. В исследовательской работе применены программные комплексы Elcut 6.3, просчитаны температурные деформации узловых соединений ограждающих конструкций из сэндвич-панелей.

Сформулирована научная новизна, практическая значимость темы «Анализ причин возникновения дефектов и повреждений сэндвич-панелей в эксплуатируемых зданиях»

Магистрантка Афанасьева Е.В. заслуживает присвоения звания магистра по направлению 08.04.01. «Строительство» магистерской программы 08.04.01.03 «Теория и проектирование зданий и сооружений», а работа по теме «Анализ причин возникновения дефектов и повреждений сэндвич-панелей в эксплуатируемых зданиях»- оценки « Отлично»

К.т.н., доцент,
Зав.кафедры ХТИ-филиал СФУ

Г.Н.Шибеева

РЕЦЕНЗИЯ
НА МАГИСТЕРУЮ ДИССЕРТАЦИЮ

Афанасьевой Елены Витальевны
Хакасского технического института – филиала СФУ
Кафедра «Строительство»

Выполненная магистерская диссертация на тему: «Анализ причин возникновения дефектов и повреждений сэндвич-панелей в эксплуатируемых зданиях»

Диссертация Афанасьевой Елены Витальевны является результатом упорной работы в магистратуре по направлению «Теория и проектировании зданий и сооружений»

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

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

Сформированы цель, задачи на основе анализа дефектов в эксплуатируемых зданиях с ограждающими конструкциями из сэндвич-панелей. В исследовательской работе применены программные комплексы Elcut 6.3, просчитаны температурные деформации узловых соединений ограждающих конструкций из сэндвич-панелей.

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

Замечания:

Магистранка Афанасьева Е.В. заслуживает присвоения звания магистра по направлению 08.04.01. «Строительство» магистерской программы «Теория и проектирование зданий и сооружений», а работа по теме «Анализ причин возникновения дефектов и повреждений сэндвич-панелей в эксплуатируемых зданиях»- оценки « Отлично»

Директор НО МЖФ г. Абакана

подпись, дата

В.Н Хамин
инициалы, фамилия

«__»_____2019 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме: «Анализ причин возникновения дефектов и повреждений сэндвич-панелей в эксплуатируемых зданиях» содержит 116 страниц текстового документа, 29 таблиц, 46 рисунков, 81 использованного источника.

Публикации:РИНЦ

- 1) Шибаева Г.Н.,Редина Е.В., Анализ современного рынка видов сэндвич-панелей в строительстве, Инновационное развитие. Международный научный журнал, студ. науч.-практ. конф. № 8(25). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36481314>
- 2) Шибаева Г.Н.,Редина Е.В., Танков Е.В., Analysis of modern market of dry construction mixtures, Инновационное развитие. Международный научный журнал, студ. науч.-практ. конф. № 5(22). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35289491>
- 3) Шибаева Г.Н.,Афанасьева Е.В., Исследование дефектов во время эксплуатации зданий с ограждающими конструкциями из сэндвич-панелей , Colloquium-journal. Международный научный журнал, студ. науч.-практ. конф. № 14(38).

ВАК

- 4) Шибаева Г.Н., Ибе Е.Е., Баев М.В., Редина Е.В., Анализ тепловой защиты зданий, построенных с применением вентилируемых фасадных систем, Вестник Евразийской науки № 5 (10). URL: <https://esj.today/PDF/46SAVN518.pdf>

SCOPUS

- 5) Shibaeva G.N., Afanasyeva E.V., Portnyagin D.G., Ibe E.E., Thermal Protection of Multi-layer Exterior Walls with an Expanded Polystyrene Core. 2019. URL: https://www.researchgate.net/publication/333200263_Thermal_Protection_of_Multi-layer_Exterior_Walls_with_an_Expanded_Polystyrene_Core

Цель диссертационной работы состоит из проведения анализа причин возникновения дефектов в эксплуатируемых зданиях с ограждающими конструкциями из сэндвич-панелей для выявления теплопотерь в зонах сопряжения сэндвич-панелей.

Задачи исследования:

- 1) выполнить анализ существующих конструктивных решений сэндвич-панелей
- 2) провести тепловизионное обследование объектов с ограждающими конструкциями из сэндвич-панелей на предмет теплопотерь
- 3) выполнить численные исследования в программном комплексе Elcut для выявления причин теплопотерь в узловых соединениях
- 4) усовершенствовать узловые соединения и примыкания сэндвич-панелей для устранения теплопотерь в зданиях.
- 5) разработать практические рекомендации по минимизации теплопотерь в узловых соединениях из сэндвич-панелей на стадии проектирования

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1 Состояние вопроса и задачи исследования	8
1.1 Исторический обзор применения сэндвич-панелей в строительстве	8
1.2 Анализ конструктивного решения сэндвич-панели	18
1.2.1 Материалы, применяемые при изготовлении сэндвич-панелей ...	21
1.2.2 Особенности технологии, применяемой при изготовлении сэндвич-панелей.....	30
1.2.3 Особенности монтажа сэндвич-панелей	35
1.3 Проблемы при эксплуатации сэндвич-панелей	40
Глава 2 Экспериментально-теоретическое исследование и оценка состояния сэндвич-панелей в эксплуатируемых зданиях.....	47
2.1 Тепловизионное обследование эксплуатируемых зданий из сэндвич-панелей на наличие мостиков холода	47
2.2 Расчет узлов сопряжений сэндвич-панелей в программном комплексе Elcut с позиции процесса теплопереноса и анализ результатов расчета....	55
2.3 Определение зависимости между коэффициентом теплопроводности и температурой поверхности узла соединения сэндвич-панелей в программном комплексе Elcut.....	70
2.4 Расчет с использованием программного комплекса Elcut и анализ температурного потока при утеплении узлов сопряжений и креплений сэндвич-панелей	73
2.5 Сравнение результатов численных исследований.....	86
2.6 Выводы по результатам исследования.....	88

Глава 3 Пути решения устранения дефектов и повреждений сэндвич-панелей в эксплуатируемых зданиях	90
3.1 Практические рекомендации по устранению дефектов в узлах сопряжений и креплений сэндвич-панелей	91
3.2 Обоснование экономической целесообразности выбора материала для повышения теплозащиты узла сопряжения сэндвич-панелей	97
3.3 Вывод по главе	104
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	106
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	108

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Начало XXI века является активным формированием инновационных эффективных технологий при строительстве и реконструкции зданий и сооружений. Решение проблем ресурсосбережения при возведении зданий является одним из важных направлений повышения эффективности строительства. На сегодняшний день энергосбережение становится все более актуальной проблемой. Во всем мире уже давно ведется поиск путей понижения энергозатрат за счет его рационального применения.[1]

Для решения этой задачи необходимо проведение различных энергосберегающих мероприятий:

- применение эффективных и экологически безопасных теплоизоляционных материалов;
- использование долговечных ограждающих конструкций;
- снижение теплопотерь;
- повышение качества теплотехнического проектирования зданий.

На сегодняшний день значительную долю в сфере строительства занимают быстровозводимые здания и сооружения, состоящие из:

- Металлоконструкций (каркас);
- Сэндвич-панелей (ограждающая конструкция);
- Доборных элементов (обрамление для кровельного элемента и узлов стыка);
- Крепежных систем (сварка либо резьбовое соединение).

В связи с широким внедрением в строительство сэндвич - панелей в качестве ограждающих конструкций становится актуальной работа, направленная на исследование *дефектов* во время эксплуатации здания.

Для этого необходимо выполнить экспериментальные и теоретические исследования объектов с ограждающими конструкциями из сэндвич - панелей для выявления дефектов во время эксплуатации зданий.

Цель и задачи:

Целью работы является проведение анализа причин возникновения дефектов в эксплуатируемых зданиях с ограждающими конструкциями из сэндвич - панелей для выявления теплопотерь в зонах сопряжения сэндвич-панелей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1) Произвести обзор информационных источников по теме магистерской диссертационной работы для выявления проблем при эксплуатации панелей, а также выполнить анализ существующих конструктивных решений сэндвич-панелей;

2) Провести тепловизионное обследование объектов с ограждающими конструкциями из сэндвич - панелей на наличие мостиков холода;

3) Выполнить расчёты в Elcut с позиции теплопереноса различных типовых вариантов узловых соединений сэндвич-панелей для выявления причин мостиков холода

4) Привести примеры вариантов узлов для устранения тепловых потерь в узловых соединениях и примыкании сэндвич – панелей;

5) Разработать практические рекомендации по минимизации теплопотерь и устранению дефектов в узловых соединениях из сэндвич - панелей на стадии проектирования

6) Выполнить технико-экономическое обоснование целесообразности применения принятого утепленного варианта узла в условиях г. Абакана для повышения долговечности теплоизоляционного варианта

Научная новизна

1) Экспериментально определены дефекты в зданиях с ограждающими конструкциями из сэндвич – панелей;

2) Выявлены основные причины теплопотерь зданий с ограждающими конструкциями из сэндвич - панелей на основании расчетной компьютерной модели при помощи программного комплекса Elcut;

3) Впервые получены численные зависимости между коэффициентом теплопроводности монтажной пены и температурой наружной и внутренней поверхности в узлах сопряжений сэндвич – панелей с учётом особенностей климатических условий г. Абакана;

4) Впервые представлены результаты технико-экономической эффективности применения различных теплоизоляционных материалов, используемых местными застройщиками с учётом особенностей климатических условий г. Абакана для устранения теплопотерь в узловых соединениях сэндвич-панелей;

5) Предложены утепленные варианты узлов существующих сопряжений и креплений сэндвич-панелей исключаящие теплопотери в зданиях;

6) Рекомендованы пути решения по устранению дефектов в узлах сопряжении сэндвич-панелей

Практическая значимость:

Выполнены экспериментально-теоретические исследования узловых соединений из сэндвич – панелей, позволяющие выявить за счет чего происходят теплопотери в эксплуатируемых зданиях для их устранения. Даны рекомендации по устранению дефектов и повреждений сэндвич-панелей в эксплуатируемых зданиях. Результаты работы могут быть положены в основу проектных решений для строительства энергоэффективных зданий с ограждающими конструкциями из сэндвич – панелей.

Глава 1 Состояние вопроса и задачи исследования

1.1 Исторический обзор применения сэндвич-панелей в строительстве

Появились сэндвич - панели еще в XIX веке. Предками сэндвич - панелей можно считать строительные конструкции, придуманные американским инженером Франком Лойдом Рейтоном в тридцатые годы XIX века. Облегченные, прочные и удобные детали для строительства – это прогресс производства, новая ступень в развитии строительных технологий. Но, как и любое новое изобретение, сэндвич - панели для облицовки нужно было совершенствовать и совершенствовать. И в пятидесятые годы XIX века Олден Б. Доу создал сэндвич - панели. Именно Олден Б. презентовал миру первые весьма эргономичные сэндвич - панели, отличающиеся уникальными качественными характеристиками, благодаря чему они и стали очень быстро популярными в строительной сфере. [3]

Стеновые сэндвич - панели были просты в использовании, сохраняли тепло и давали возможность на существование дизайнерской мысли. Правда, был у тех сэндвич - панелей один явный недостаток: их производство требовало существенных временных затрат. Для уменьшения временных затрат нужно было усовершенствовать оборудование для производства сэндвич - панелей.[3]

В 1960 г. компания «Alside» решила эту проблему. Специалисты этой компании внесли ряд необходимых усовершенствований в процесс производства стеновых сэндвич - панелей, благодаря чему и добились поставленной задачи – повысили скорость изготовления. В связи с запуском массового производства сэндвич - панелей, в мире начался строительный бум в области быстровозводимых сооружений. [3]

В Советском Союзе сэндвич - панели появились в начале 1960-х годов. Однако импортные сэндвич - панели оказались недешевы, а

собственное производство развивалось очень медленно. Поначалу в нашей стране использовались сэндвич - панели с наполнителем из горючих материалов – пенополистирола и пенополиуретана.[3]

В нашей стране разработкой сэндвич - панели с металлическими обшивками занимались, в основном, две организации - ЦНИИПСК им. Н.П. Мельникова и ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. Впервые такие сэндвич - панели применили в 1965 году при строительстве обогатительной фабрики в Якутии. Панели имели гладкие алюминиевые обшивки из сплава АМгП, средний слой из полистирольного пенопласта и комбинированного обрамления по контуру в виде фанерной полосы с приклепанными алюминиевыми уголками. С несколько измененным, Z-образным, металлическим обрамлением и средним слоем из плитного пенополивинилхлорида аналогичные панели были применены [33, 34] в качестве покрытия купола телескопа Зеленчукской астрофизической обсерватории АН СССР. Кроме того, сэндвич - панели с предварительно напряженными гладкими алюминиевыми обшивками по проектам ЦНИИПСК были применены для покрытия Байкальской ТЭЦ и Селенгинского целлюлозно-картонного комбината [35, 36].

Принципиальные изменения в этом способе строительства произошли уже в 90-е годы, когда появились первые дома, построенные с применением современного стройматериала – сэндвич-панелей, в самом простом варианте представляющих собой трехслойную конструкцию. Строительная конструкция должна быть в определенной степени жесткой, поскольку она выполняет ограждающие функции. Поэтому два слоя – внутренний и наружный – являются своего рода скорлупой, закрывающей с двух сторон теплоизолятор, который является третьим слоем. Этот своеобразный теплоизолирующий сердечник, как правило, выполнен из современных, высокоэффективных теплоизоляционных материалов минераловатных плит на основе базальтового волокна или поропластов (пенополистирола и пенополиуретана самозатухающих марок).

Склеивание всех компонентов происходит двумя способами: горячее и холодное прессование [4].

Опыт применения первых сэндвич-панелей оказался в целом успешным. В частности, за счет их использования удалось существенно снизить массу зданий, трудозатраты при монтаже, а также эксплуатационные расходы на содержание зданий. Однако в процессе строительства и эксплуатации зданий из таких конструкций был выявлен ряд недостатков.

Во-первых, вследствие того, что обшивки, как правило, изготавливались из гладких листов, появилась необходимость в дополнительных мероприятиях по повышению их устойчивости. Во-вторых, обрамление из фанерной полосы и прикрепленных к ней двух металлических уголков требовали выполнения большого количества операций при изготовлении. В-третьих, для крепления обшивок к обрамляющим ребрам с помощью заклепок или самонарезающих винтов требуются большие трудозатраты, к тому же, в местах их соединений при эксплуатации выявили низкую герметичность. Кроме того, была отмечена малая производительность при вспенивании полистирольного пенопласта.[37]

С учетом указанных недостатков в ЦНИИПСК разработали усовершенствованные конструкции сэндвич-панелей с профилированными стальными и алюминиевыми обшивками и средним слоем из заливочных пенопластов, получаемых путем вспенивания компонентов в полости между обшивками. [38]

В ЦНИИпромзданий разработали сэндвич-панели с использованием опыта фирмы «Эрнст». Особый интерес представляет устройство стыков в таких сэндвич-панелях: посредством уступов и выступов, расположенных на верхних и нижних обшивках смежных сэндвич-панелей с разных сторон. При помощи самонарезающих винтов и комбинированных заклепок сэндвич-панели крепятся к прогону и соединяются между собой. [39]

Панели использовали в России вплоть до начала 80-х годов, как правило, для строительства промышленных объектов и только с 90-х годов этим

строительным материалом начали интересоваться остальные сегменты застроек, впоследствии отказываясь от основных его конкурентов: дерева, кирпича и бетона.

Как массовую продукцию сэндвич-панели уже много лет выпускают в США, Англии, Франции, Канаде, Голландии, Италии, Германии, Бельгии и других странах, однако зарубежная практика их производства и применения имеет ряд своих особенностей. Так, выпускаемые по сходной технологии в Германии и Испании безрёберные сэндвич-панели, соединяемые внахлест при помощи болтовых соединений, имеют существенный для российских условий недостаток - большую вероятность промерзания в местах крепления анкерных болтов.[34]

Некоторые фирмы изготавливают сэндвич-панели при этом имея многолетний опыт их изготовления, к примеру, американская фирма «Кери» - свыше 60 лет, французская фирма «Соба»- свыше 50 лет. Испытания различных типов трехслойных панелей вели многие производящие их фирмы. Исследования сэндвич-панелей проводились Национальным центром по строительству и Экспериментальной станцией во Франции, Исследовательским центром национальной ассоциации жилищного строительства в США. Сэндвич-панели, проверенные последней организацией, были одобрены Федеральным управлением по жилищному строительству США [3].

В настоящее время сэндвич-панели нашли широкое применение в современном строительстве в качестве навесных самонесущих стен и несущих элементов покрытия. Они применяются как при строительстве небольших зданий типа павильонов, так и промышленных и гражданских зданий: торгово-развлекательных комплексов, ледовых дворцов, спортивных и иных сооружений. [4]

В таблице 1 представлены работы по улучшению качества материала, а также исследования по работе сэндвич-панелей в различных условиях.

Таблица 1- Сводные данные по публикациям

№	Автор	Наименование работы	Краткое описание/ Результат исследования
1	Семенкова Ю.Ю., Константинова А.А.	Анализ конструктивных особенностей сэндвич - панелей и их влияние на стоимость	Проанализированы изменения ценового диапазона сэндвич-панелей в зависимости от вида применяемого утеплителя в сэндвич-панелях.[5]
2	Константинов Д.Ю., Шабалин Л.П., Батраков В.В.	Анализ причин возникновения дефектов при формовании клиновидных сэндвич-панелей	Приведены методики и результаты исследования возникновения смещения утеплителя во время формования сэндвич-панелей. Проведены экспериментальные исследования распределения внутренних усилий, вызывающих смещение заполнителя в процессе формования сэндвич-панели, а так же выявлены причины, вызывающие смещения и предложены варианты их устранения[6]
3	Сверчкова Н.А., Казакова И.С.	Выбор оптимального конструктивного решения покрытия с использованием стеновых сэндвич-панелей в кровле	Разработан ряд исследований покрытия общественного здания с использованием стеновых сэндвич-панелей. Предложена оценка несущей способности сэндвич-панелей в зависимости от расчетной схемы, шага прогонов, величины опирания сэндвич-панелей на прогон и прочностных характеристик утеплителя. Произведен выбор экономичного варианта покрытия с использованием стеновых сэндвич-панелей[7]
4	Бобылев В.Н., Тишков В.А., Гребнев П.А., Монич Д.В.	Инженерный метод расчета звукоизоляции сэндвич-панелей с учетом двойственной природы прохождения звука	Разработана методика расчета звукоизоляции сэндвич-панелей, приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований звукоизоляции для бескаркасных сэндвич-панелей, предназначенных для применения в качестве

№	Автор	Наименование работы	Краткое описание/ Результат исследования
			ограждающих конструкций.[8]
5	Ермолович Г.Ю.	Инновационные технологии в строительстве с использованием сэндвич-панелей	В статье рассматриваются вопросы о значении сэндвич-панели в строительстве. Описан способ изготовления и рассмотрены задачи по теплоизоляции, влагостойкости[9]
6	Умнякова Н.П., Кузьмин В.А.	Применение отражательной теплоизоляции в многослойных панелях с эффектом многократного отражения теплового потока	Предложены схемы использования отражательной теплоизоляции в сэндвич-панелях. Разработана программа и описан ход проведения эксперимента по исследованию образцов сэндвич-панелей.[10]
7	Гребнев П.А. Монич Д.В.	Исследование звукоизолирующих свойств бескаркасных ограждающих конструкций из сэндвич-панелей	Исследованы конструкции с однослойными и двухслойными облицовками, а так же представлены результаты экспериментов при испытании в лабораторных условиях сэндвич-панели[11]
8	Гуревич Т.М., Торопов Р.О.	К расчету несущей способности стеновых и кровельных сэндвич-панелей	Представлен анализ и методики расчета трехслойных стеновых и кровельных панелей с металлическими обшивками. Были выполнены эксперименты с основными нагрузками и воздействиями, которые влияют на напряженно-деформированное состояние обшивок и заполнителя.[12]
9	Бабков А.Ю.	Линии и установки по производству пенополиуретановых сэндвич-панелей	Описан процесс изготовления сэндвич-панелей с пенополиуретановым утеплителем.[13]
10	Осипович Л.М., Долженко В.Е.	Метод испытания сэндвич-панелей с минеральной ватой на долговечность	Разработана методика испытаний сэндвич-панелей с минеральной ватой на долговечность при помощи специального лабораторного оборудования.[14]
	Ведищева Ю.С. Ананьин М.Ю.	Многофакторное численное исследование теплотехнических	Описано исследование по теплотехническим свойствам ограждающих конструкции из

№	Автор	Наименование работы	Краткое описание/ Результат исследования
11		свойств сэндвич-панелей вертикальной разрезки	стенowych сэндвич-панелей. Приведены результаты исследования и уравнения для расчета сопротивления теплопередачи наружного ограждения из сэндвич-панели.[15]
12	Грановский А.В., Доттуев А.И., Макаров Ю.Д.	Технические решения при проектировании быстровозводимых зданий из сэндвич-панелей с утеплителем из пенополиизоцианурата в зонах повышенной сейсмической опасности	Описана технология применения сэндвич-панелей в строительстве в сейсмически опасных зонах. Произведены экспериментальные испытания по оценке сейсмостойкости конструкции из навесных стеновых панелей. Предложены варианты усовершенствования фасадной системы.[16]
13	Тумакова Е.В.	Применение метода акустических измерений к сэндвич-панелям, изготовленных с использованием метода инъекции длинного волокна	Предложена методика процесса инъекции длинного волокна (LFI), описан процесс исследования методом инъекции длинного волокна.[17]
14	Касенов А.Е., Закиров М.Р., Кулешов И.В.	Проблемы при эксплуатации сэндвич-панелей	В статье рассмотрены основные проблемы при монтаже и эксплуатации сэндвич-панелей в строительстве.[72]
15	Гончарова М.А., Бондарев Б.А., Проскуракова А.О.	Прогнозирование долговечности пенополиуретана в кровельных сэндвич-панелях	В статье приведено исследование возможности увеличения долговечности наполнителя. Предложены варианты утеплителя, произведен расчет результатов испытаний и выявлены сроки долговечности разных утеплителей: конвертерный шлак, пенополиуретан, микрокремнезем[19]
16	Рыженко С.Н., Шинкаревич Ю.П.	Современное оборудование для производства панелей	Описан процесс изготовления сэндвич-панелей[20]
17	Рустемов Б.Е.,	Сравнение теплотехнических	В статье раскрыты виды и достоинства сэндвич-панелей, а

№	Автор	Наименование работы	Краткое описание/ Результат исследования
	Чекардовский М.Н.	свойств на примере сэндвич-панели и стандартного утеплителя	также выполнен теплотехнический расчет с разными утеплителями и сравнение результатов исследования.[21]
18	Арматонова А.А., Антоненко Н.А.	Сравнительный анализ материалов для изготовления сэндвич-панелей	В статье рассмотрены варианты применяемых в строительстве сэндвич-панелей, приведены материалы для их изготовления, варианты соединений сэндвич-панелей, а также выполнен сравнительный анализ и рекомендации по использованию сэндвич-панелей[22]
19	Казаков Ю.Н., Сычев С.А.	Строительная система из сэндвич-панелей заводского изготовления	В статье разработаны рациональные технологические решения, оптимизированные для установки сэндвич - панелей размером 1,2х3,6 м, тем самым увеличились интересы на 95% степень заводской готовности[23]
20	Бурцева М.А., Медникова Е.А.	Сэндвич-панели. Материалы и конструкции	Описаны главные преимущества сэндвич-панелей, их прочностные, теплоизоляционные и другие важные характеристики[24]
21	Данилов А.И., Туснина О.А.	Экспериментально-теоретические исследования напряженно-деформированного состояния прогона покрытия из сэндвич-панелей	Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований действительной работы тонкостенного холодногнутого прогона в составе конструкции покрытия из сэндвич-панелей.[25]
22	Долгих Е.В., Дышеков У.А., Семенов М.Н.	Экспериментально исследование композитных сэндвич-панелей, усиленных решеткой из углеродного волокна	В данном исследовании было изучено повышение механической прочности сэндвич-панелей, изготовленных из углеродного волокна в сочетании с эпоксидной смолой, для придания жесткости конструкции применены жесткие решетки. Для создание сэндвич-панели применялся метод

№	Автор	Наименование работы	Краткое описание/ Результат исследования
			вакуумного прессования.[26]
23	Черногиль В.Б.	Патент РФ №83782 Сэндвич-панель металлическая трехслойная	Изобретение позволяет решить задачи направленные на создание полезной модели. Исследования заключается в том, чтобы предлагаемая сэндвич-панель, сохраняя теплоизоляционные свойства, легкость, прочность и дешевизну обладала повышенной огнестойкостью.[27]
24	Симоненко Ю.В.	Патент РФ №125595 Сэндвич-панель	Техническим результатом предлагаемой полезной модели является повышение теплоизолирующей способности, расширение области применения, повышение прочности. [28]
25	Третьяченко Е.Н.	Патент РФ №125599 Сэндвич-панель	Задача, на решение которой направлено создание полезной модели, заключается в том, чтобы предлагаемая сэндвич-панель, сохраняя теплоизоляционные свойства, легкость и прочность, позволяла создавать легко собираемые и быстро монтируемые конструкции. Поставленная задача достигается тем, что сэндвич-панель с одинаковыми продольными кромками, состоящая из двух металлических листов и расположенного между низко горючего утеплителя - пенополиуретана, соединяется с аналогичной сэндвич-панелью посредством фиксирующих элементов - накладных металлических замков.[29]
26	Индык Л.Ю.	Патент РФ №62411 Сэндвич-панель металлическая	Полезная модель относится к конструкциям сэндвич-панелей и может быть использована в качестве

№	Автор	Наименование работы	Краткое описание/ Результат исследования
		трехслойная	ограждающих конструкций зданий и сооружений (не несущих стен и кровли). Поставленная задача решается с помощью того, что в качестве среднего слоя используется комбинированный утеплитель, где пенополистирол и минеральная вата расположены послойно и параллельно внешним металлическим листам по всей плоскости панели и склеены между собой, например однокомпонентным полиуретановым клеем.[30]
27	Гайслер Е.В., Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Аникова Л.А.	Патент РФ №64237 Сэндвич-панель	Для достижения технического результата заявляемая полезная модель в патенте, содержащая два поверхностных слоя из металла и размещенный между ними теплоизоляционный слой из минерального материала является пенобетон. Технический результат заключается в повышении прочности и огнестойкости сэндвич-панели. [31]
28	Марков С.А.	Патент РФ №93834 Теплоизолирующая и звукоизолирующая сэндвич-плита для строительства зданий и помещений из сэндвич-панелей	В патенте используются материалы типа «Сэндвич-панелей», применяемых в качестве стеновых панелей в малоэтажном строительстве зданий и сооружений, холодильных или морозильных камер (контейнеров), панелей для звуко- и теплоизоляции. Технический результат патента: повышение надежности, расширение спектра применения, экологичность сэндвич-панели. Новым в сэндвич панели, содержащей соединенные между собой посредством клеевого слоя утеплитель в виде слоя

№	Автор	Наименование работы	Краткое описание/ Результат исследования
			пенопласта на основе полистирола, его наружную и/или внутреннюю обшивку, в виде слоя изолон выполненного из вспененного полимерного материала на основе полиэтилена, является то, что утеплитель выполнен в виде теплоизоляционной плиты[32]
29	Герман А.Ю., Плитина М.С., Белеская Е.А., Панфилова М.Г.	Патент РФ №104211 Трехслойная наружная стенная панель	Патент относится к области строительства и касается конструктивного выполнения трехслойной наружной стеновой панели. Технический результат - снижение трудозатрат на изготовление панели. В трехслойной наружной стеновой панели, содержащей наружный и внутренний железобетонные слои, расположенный между ними теплоизоляционный слой из жесткого утеплителя в виде плит, гибкие связи, соединяющие между собой слои панели и элемент заделки зазора между плитами утеплителя, последний выполнен в виде слоя из мягкого утеплителя, расположенного, по крайней мере, в верхней части торца жесткого утеплителя, примыкающего при сборке панели к гибким связям[33]

1.2 Анализ конструктивного решения сэндвич-панели

Сэндвич-панель – это композитная конструкция. На рисунке 1 представлена конструкция сэндвич-панели.

Сэндвич-панель состоит из двух тонких обшивок из достаточно прочного материала (несущих внешних слоев), соединенная между собой сердечником (заполнителем). Толщина утеплителя значительно больше

толщины обшивок, это позволяет при достаточно малом весе обладать сравнительно высокими характеристиками прочности и жесткости.[2]

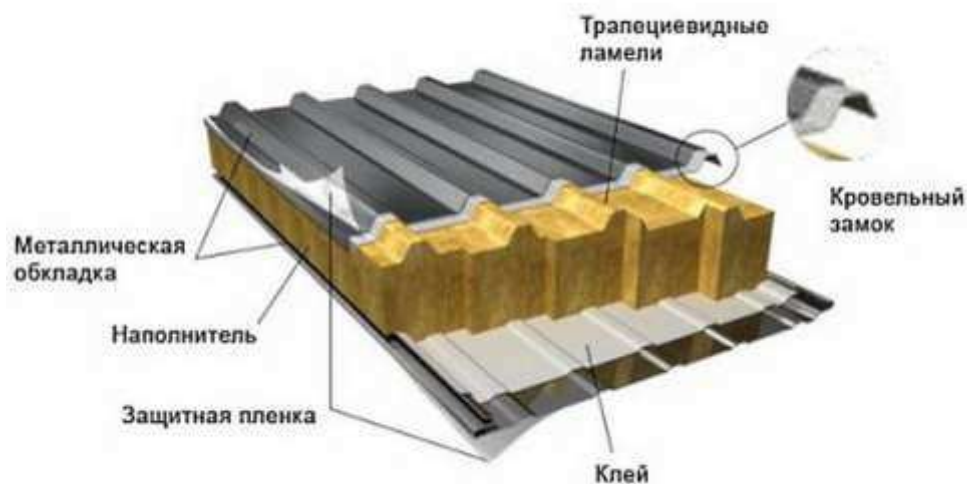


Рисунок 1- Конструкция сэндвич-панели

Исходя из большого количества теоретических и экспериментальных исследований, были выявлены следующие основные *преимущества* сэндвич-панелей:

- быстрые сроки возведения или ремонт зданий;
- строительство может производиться в любое время года;
- высокие показатели тепло- и звукоизоляции;
- низкая нагрузка на фундамент постройки, из-за сравнительно небольшого веса панели;
- легкость транспортировки;
- не требуется дополнительная отделка;
- высокая звукоизоляция;
- короткие сроки строительства возводимых объектов;
- материал экономичный по сравнению с другими конструкциями;
- возможность массового производства;
- привлекательный внешний вид.

При этом у сэндвич-панелей, в зависимости от применяемых материалов имеются и *недостатки*:

- не выдерживают существенную дополнительную нагрузку;
- высокая вероятность наружного повреждения;
- мостики холода в местах соединений;
- отслоение утеплителя от стального листа;
- повреждение каркаса и крепежа в местах стыка сэндвич-панелей

(причиной могут являться обильный конденсат или «точка росы») [2]

Существующая нормативная база по сэндвич-панелям представлена следующими стандартами[2]:

ГОСТ 21562-76 «Панели металлические с утеплителем из пенопластов» (переиздан в 1990 г.);

ГОСТ 23486-79 Панели металлические трехслойные стеновые с утеплителем из пенополиуретана (переиздан в 1986 г.);

ГОСТ 32603-2012 «Панели металлические трехслойные с утеплителем из минеральной ваты» (действует с октября 2014 г.).

Сэндвич-панели благодаря своим эксплуатационным свойствам, высокой технологичности производства, а также широкому диапазону размеров и модификаций, предоставляющих возможность реализации разнообразных конструктивных и архитектурных решений, являются материалом, находящим широкое применение в строительстве:

- промышленных зданий;
- торговых комплексов;
- жилых и административных зданий;
- спортивных и ледовых сооружений;
- автозаправочных станций, автосалонов, автопаркингов;
- мобильных зданий для нефтегазовой сферы и строительной индустрии;
- складских помещений для предприятий пищевой промышленности;
- сельскохозяйственных сооружений.

1.2.1 Материалы, применяемые при изготовлении сэндвич-панелей

Сэндвич-панели состоят из трех основных элементов: утеплитель,

обшивки и клеевые швы, обеспечивающие совместную работу всех элементов.[34]

В качестве обшивки на первых этапах широко применялись алюминиевые сплавы, фанера, асбоцемент и т.п. На рисунках 2, 3, 4 представлены различные виды обшивок.



Рисунок 2 – Обшивка ГКЛ

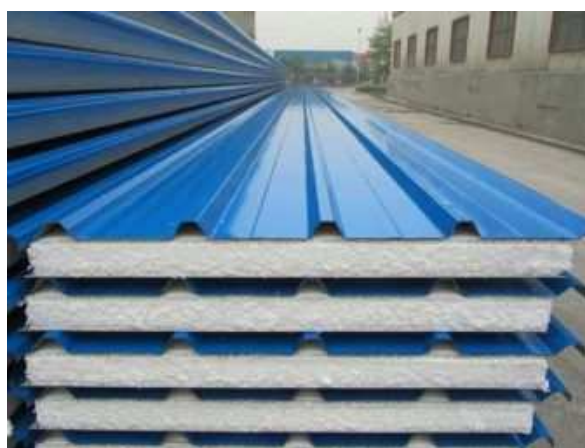


Рисунок 3 – Металлическая обшивка



Рисунок 4 – Обшивка ПВХ

Фанера и асбоцемент применялись, в основном, в каркасных панелях, изготавливаемых стендовым способом. Алюминиевые сплавы (АМц, АМг) устойчивы к внешним факторам и имеют очень хорошую коррозионную стойкость. Однако сэндвич-панели с алюминиевыми обшивками значительно дороже и обладают большей деформацией. В связи с этим, в последнее время в качестве материала обшивки обычно используется листовая сталь. [61]

Для увеличения срока службы сэндвич-панели применяют обшивку из оцинкованной стали с лакокрасочным покрытием толщиной не менее 40 мкм. В таблице 2 представлены наиболее популярные в настоящее время полимерные покрытия.

Таблица 2 – Виды и характеристика полимерных покрытий

Вид	Индекс	Характеристика полимерного покрытия
Полиэстер	PE	Относительно недорогой материал, который подходит для любой климатической зоны. Толщина покрытия 25 мкм. Теплостойкость порядка +120°С. Покрытие может быть как матовым, так и глянцевым. Применение данного покрытия оправданно в случаях небольших эксплуатационных нагрузок
Пурал	Pural	Покрытие на основе полиуретана. Обладает шелковистоматовой поверхностью. Рекомендуются как для внутренних, так и для внешних поверхностей ограждающих конструкций. Материал имеет хорошую химическую устойчивость, выдерживает высокие температурные перепады. При толщине покрытия 50 мкм имеет хорошие антикоррозионные свойства. Пластичность покрытия гарантируется даже при низких температурах
Поливинилдифторид	PVDF	Композитный материал, состоящий на 80% из поливинилдифторида и на 20% из акрила. Сохраняет свои свойства в интервале температур от -60 до +120°С. Устойчив к УФ-излучению, обладает высокой стойкостью к

Вид	Индекс	Характеристика полимерного покрытия
		агрессивным средам и механическим воздействиям. Покрытие может быть использовано в случае особых эксплуатационных требований. Имеет повышенные прочностные и антикоррозийные свойства
Пластизоль	PVC200	Покрытие благодаря толщине, равной 200 мкм, является стойким к механическим повреждениям. Рекомендуется использовать в условиях повышенной загрязненности окружающей среды

С целью повышения несущей способности обшивку профилируют. На рисунке 5 представлены различные виды внешних поверхностей сэндвич-панелей.

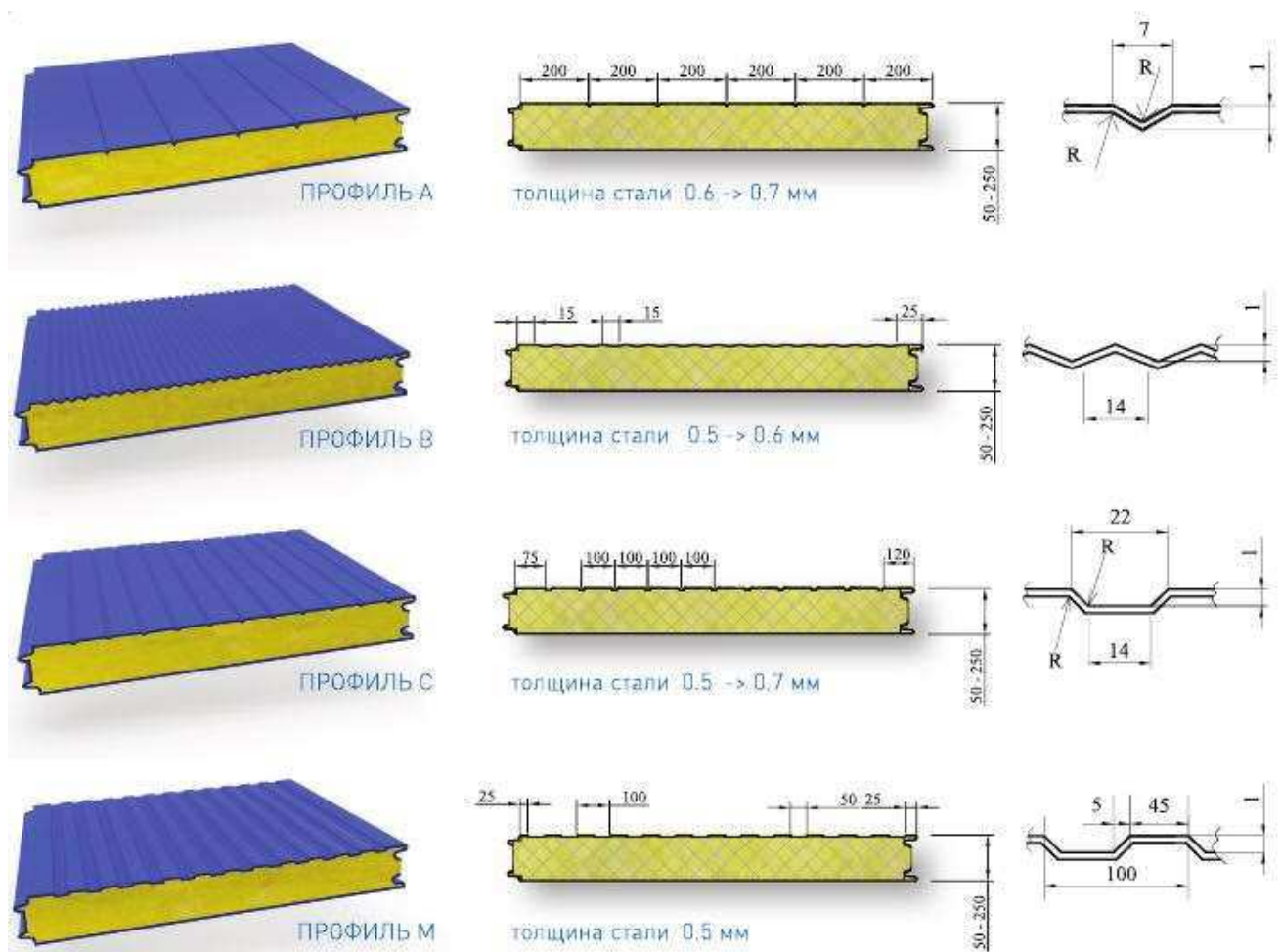


Рисунок 5- Виды внешней поверхности сэндвич-панелей

В качестве среднего слоя сэндвич-панелей широко применяют различные виды пенопласта. Существуют две технологии изготовления сэндвич-панелей с пенопластом в роли утеплителя.[48]

На рисунке 6 показана сэндвич-панель с одним из видов пенопласта.



Рисунок 6-Пенополистирол

В первом случае утеплитель вспенивается в полости сэндвич - панели между обшивками и таким образом обеспечивается наиболее качественное сцепление утеплителя с обшивкой. Однако при таком способе изготовления сэндвич - панели требуется точная дозировка всех компонентов для обеспечения полного заполнения полости между обшивками и сцепления утеплителя по всей поверхности. Среди недостатков данного метода изготовления можно отметить неравномерные прочностные свойства утеплителя как по ширине, так и по толщине сэндвич-панели (в середине сэндвич-панели плотность утеплителя меньше, чем около обшивок, соответственно, и прочностные свойства утеплителя ниже, чем по краям).[48]

При втором способе пенопласт нарезается на бруски (ламели) и приклеивается к обшивкам. В этом случае свойства утеплителя неизменны как по толщине, так и по ширине сэндвич - панели, однако сам утеплитель не однородный: он разрезан на ламели, которые не склеены между собой, качество приклеивания утеплителя к обшивкам сильно зависит от параметров клеевого слоя.[48]

Недостатками сэндвич - панелей с утеплителем на основе пенопласта является их малая огнестойкость (менее 15 минут). При воздействии открытого огня некоторые пенопласты поддерживают горение и выгорают изнутри (пример - пожар в корпусе по производству двигателей на заводе КАМАЗ в г. Набережные Челны), при этом возгорание утеплителя в сэндвич - панели невозможно потушить традиционными способами. В связи с этим, большое внимание последнее время уделяется самозатухающим пенопластам, но даже в этом случае в процессе воздействия на сэндвич-панель повышенных температур выделяются ядовитые продукты распада, которые ограничивают область применения таких сэндвич-панелей (холодильные камеры, небольшие склады и т.п.). Одним из негорючих материалов на основе пенопластов является пенополиизоцианурат (PIR) с классом горючести Г2.[48]

Наиболее интересным с точки зрения огнестойкости, экологичности, теплотехнических свойств и срока службы является минераловатный утеплитель на основе базальтового волокна. Сэндвич-панель на основе базальтового волокна показана на рисунке 7.[1]

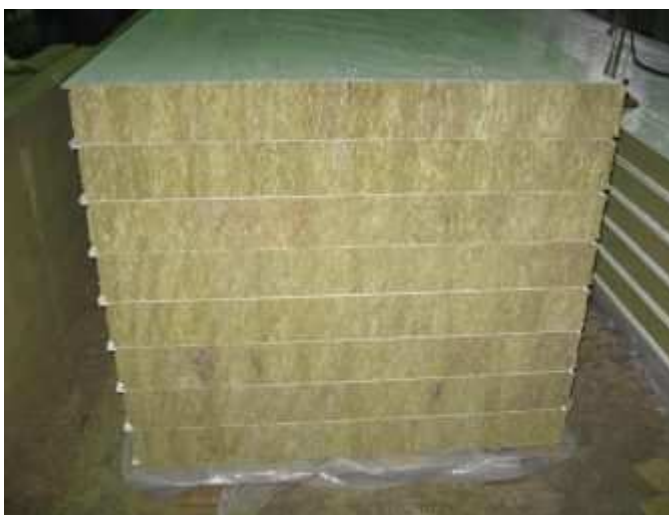


Рисунок 7– Сэндвич-панели с утеплителем на основе базальтового волокна

Шоболовым Н.М. [64] были проведены исследования минеральной ваты повышенной жесткости, в которых изучались ее прочность на сжатие и

реологические свойства. Им изучались вопросы прочности и деформативности жестких и полужестких образцов минеральной ваты.

При использовании минераловатной плиты в качестве среднего слоя в сэндвич-панели необходима соответствующая ориентация волокон, так как данный материал проявляет ярко выраженные ортотропные свойства (прочностные характеристики вдоль волокон в два раза выше поперечных). Соответствующая ориентация волокон плиты достигается путем нарезки плитного утеплителя на ламели с последующим их поворотом таким образом, чтобы волокна утеплителя были перпендикулярны обшивкам. [65]

Для производства сэндвич-панелей используется минераловатный плитный утеплитель на основе базальтового волокна плотностью порядка 100-130 кг/м³. [50]

В таблице 3 и 4 представлены технические характеристики применяемых утеплителей в сэндвич-панелях, а так же их достоинства и недостатки.

Таблица 3 – Технические характеристики утеплителей применяемых в сэндвич-панелях

Технические характеристики	Мин.вата	Пенополистирол	Пенополиуретан	Пенополиизоцианурат
Коэффициент теплопроводности, Вт/м*К	0,036	0,034	0,022	0,021
Пористость	Открытая	Закрытая	Закрытая	Закрытая
Водопоглощение за 24 ч,%	1,5	2	2,5	2,5
Плотность, кг/м ³	Не менее 105	Не менее 17	Не менее 38	Не менее 40
Группа горючести	НГ	Г3	Г2	Г1
Диапазон рабочих температур	-30 +60	-50 +75	-50 +75	-50 +75
Выделение вредных веществ при горении	Не имеет (Т0)	Умеренно опасные (Т2), токсичный	Умеренно опасные (Т2), токсичный	Умеренно опасные (Т2), токсичный
Срок службы	15	20	50 и более	50 и более
Экологичность	Аллерген	Безопасен	Безопасен	Безопасен
Биологические поражения	Грибок, грызуны	Грызуны птицы	нет	Нет

Технические характеристики	Мин.вата	Пенополистирол	Пенополиуретан	Пенополиизоцианурат
Поведение во времени	Осадка	Расслоение	Без изменения	Без изменения
Производство работ	Сухая погода	Круглогодично	Круглогодично	Круглогодично
Влага, агрессивные среды	Теплоизоляционные свойства теряются, восстановлению не подлежат	Устойчив	Устойчив	Устойчив

Таблица 4- Преимущества и недостатки видов утеплителей применяемых в сэндвич-панели

Вид	Достоинства	Недостатки
Минераловатный утеплитель	<ul style="list-style-type: none"> · высокие показатели звуко- и теплоизоляции; · экологическая чистота; · неподверженность усадке. В течение всего срока эксплуатации габариты изделий с минеральной ватой остаются неизменными; · лёгкость монтажа; · негорючесть; · неподверженность температурным деформациям; · нулевая коррозионная активность. На металлических элементах, которые контактируют с минватой, не образуется ржавчина. 	<ul style="list-style-type: none"> · постепенная утрата теплоизоляционных свойств с течением времени. Восстановлению эти свойства не подлежат; · большая масса. Сэндвич-панели на основе минеральной ваты утяжеляют здание, на котором они закрепляются. · повышенная паропроницаемость. · возможность монтажа конструкций из минваты только при отсутствии атмосферных осадков; · вредность материала
Пенополиуретан	<ul style="list-style-type: none"> · малая теплопроводность; · неподверженность деформациям – как механическим, так и температурным; · устойчивость к агрессивным соединениям и биологическим воздействиям; · механическая прочность. Это преимущество 	<ul style="list-style-type: none"> · пожароопасность; · дороговизна.

Вид	Достоинства	Недостатки
	<p>позволяет сэкономить, отказавшись от дополнительных</p> <ul style="list-style-type: none"> · металлоконструкций; · долговечность; · экологическая чистота; · хорошая адгезия с бетоном, металлом, стеклом, кирпичом и другими материалами, сохраняющаяся в течение длительного времени; · эластичность; · неподверженность коррозии. 	
Пенополиизоцианурат	<ul style="list-style-type: none"> · крайне малая теплопроводность · неподверженность механическим и температурным деформациям; · эластичность; · экологическая чистота; · высокая механическая прочность. · сильная адгезия со стеклом, металлом, бетоном, кирпичом и многими другими материалами, сохраняющаяся в течение длительного времени; · устойчивость к агрессивным соединениям и биологическим воздействиям; · огнестойкость; · неподверженность коррозии; · долговечность. 	<ul style="list-style-type: none"> · высокая чувствительность к атмосферным осадкам и ультрафиолету (свету солнца), необходимость хорошей защиты от них; · дороговизна.
Пенополистирол	<ul style="list-style-type: none"> · хорошие звуко- и теплоизоляционные свойства; · стойкость к агрессивным средам и биологическим воздействиям; · способность долго 	<ul style="list-style-type: none"> · может спровоцировать аллергические реакции; · боится ультрафиолета. При воздействии солнечных лучей в течение двух месяцев приобретает

Вид	Достоинства	Недостатки
	<ul style="list-style-type: none"> · сохранять свойства при прямом контакте с водой (выражаясь иначе, негигроскопичность); · неподверженность деформациям при колебаниях температуры; · лёгкость. · малый объёмный вес; · негорючесть. · хорошая адгезия со многими материалами; · экологическая чистота; · долговечность, неподверженность старению 	<ul style="list-style-type: none"> · коричневый цвет и крошится; усаживается и размягчается · при воздействии температуры, превышающей 1000°C; пожароопасен; · может быть повреждён птицами и грызунами.

Клеи, обеспечивающие совместность деформаций обшивок и утеплителя, сильно влияют на прочностные свойства сэндвич-панели и ее долговечность. Для производства сэндвич-панелей используются в основном два типа полиуретановых клеев: однокомпонентный и двухкомпонентный.[33]

К особенностям полиуретановых клеев относится отсутствие усадочных явлений, отсутствие в клеевом шве внутренних напряжений, высокая прочность соединения при толщине 0,01-0,1 мм, а также широкий температурный диапазон работы от минус 195 до плюс 120 °С.

Поставщики оборудования для производства сэндвич-панелей рекомендуют различных производителей полиуретановых клеев. Среди них встречаются такие известные бренды, как Henkel и Kleiberit. Многие производители в целях экономии используют аналогичные клеи отечественного производства. В России одним из крупнейших производителей клеевых систем является компания «Владипур».[1]

Для клея и минеральной базальтовой ваты с ориентированными перпендикулярно обшивкам волокон, важной характеристикой является длительная прочность. Как указывается в работах [62, 66] полиуретановый клей и минеральную вату, пропитанную фенолоформальдегидными смолами,

следует рассматривать как молекулярные композиты.

В работе [64] показано, что длительной прочностью композитов, которыми являются клей и минвата, определяется долговечность работы трехслойных панелей. На основе теории вероятности им предложены методики по оценке долговечности и нормирование физико-механических показателей теплоизоляционных материалов (в том числе и минераловатной плиты).

Изучение литературы по данному направлению показало, что на сегодняшний день разработано и внедрено в производство множество различных видов стеновых и кровельных сэндвич-панелей [46, 50, 51, 52 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 66, 67, 68, 69, 71].

1.2.2 Особенности технологии, применяемой при изготовлении сэндвич-панелей

Существуют два принципиальных подхода по изготовлению сэндвич-панелей. Первый - стандовый способ производства сэндвич-панелей с большой долей ручного труда, второй - автоматизированная поточная производственная линия. [60]

Во многих городах России за последние годы введены в эксплуатацию поточные линии по производству сэндвич-панелей со средним слоем из минеральной ваты. В настоящее время производители используют самые разные линии по производству панелей от очень старых (1970 г.) до современных (2008 г.в.), соответственно и качество выпускаемой продукции сильно отличается. [60]

Можно рассмотреть основные этапы изготовления сэндвич-панелей и их влияние на качество изготовления. [60]

Первый этап - резка утеплителя на ламели (бруски). Для резки плиты используются фрезы диаметром от 450 до 600 мм. Чем меньше диаметр фрезы, тем больше дуга реза по телу плиты и, соответственно, тем больше

нарушается структура утеплителя. При недостаточном контроле за состоянием заточки зубьев сильно увеличивается количество пыли во время реза и происходит излом волокон минераловатной плиты, что в последствии ухудшает качество приклеивания утеплителя к обшивкам. [60]

Разрезка утеплителя на ламели (бруски) показана на рисунке 8.



Рисунок 8 - Разрезка утеплителя на ламели (бруски)

Следующим этапом является укладка ламелей в плиту, механизм укладки показан на рисунке 9. Бруски утеплителя между собой не склеиваются.



Рисунок 9 - Укладка ламелей в плиту

Производители применяют разные схемы укладки утеплителя в сэндвич-

панель:

- 1) «клином» - при данном способе в поперечном сечении сэндвич-панели выходит два стыка ламелей;
- 2) «лесенкой» - получается всего один стык ламелей.

По краям ламели имеют меньшую прочность, чем в середине, из-за нарушения целостности при разрезке. В том случае, если стык ламелей в сэндвич-панели попадет в опорную часть, критерием исчерпания несущей способности будет обмятие утеплителя на опоре. [60]

Следующим этапом производства сэндвич-панелей, влияющий на несущую способность, является нанесение клея, механизм проклейки показан на рисунке 10.

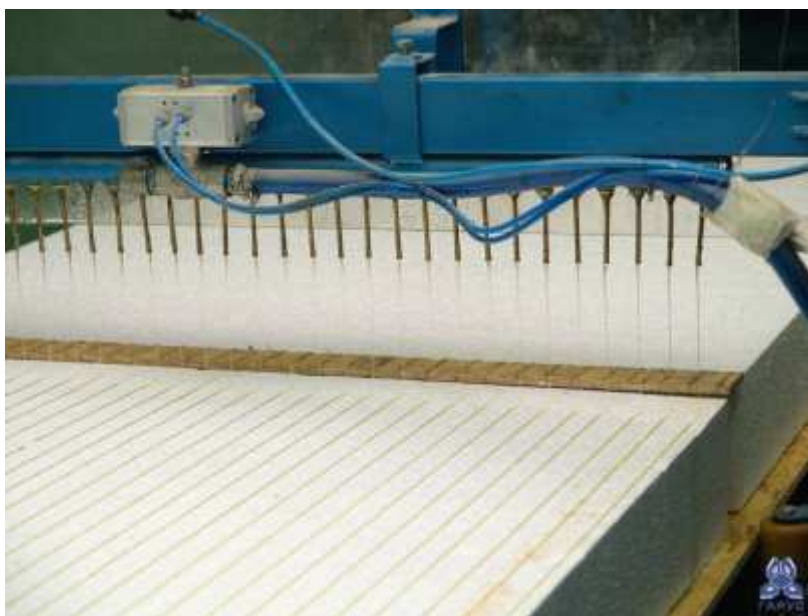


Рисунок 10- Нанесение клея

На сегодняшний день широко распространены два основных способа нанесения клея: наливной метод и растирание [60]

При наливном методе подача двух компонентов клея осуществляется непосредственно на обшивку с помощью трубок с последующим растиранием компонентов между собой. В этом случае при нанесении клея на верхнюю обшивку один из компонентов клея практически сразу стекает на

минераловатную плиту, что приводит к несоблюдению технологического процесса. [60]

При растирании клея на обшивках происходит перерасход клея (расход составляет 500 г/м^2 , при нормативном расходе $250\text{-}300 \text{ г/м}^2$). Как правило, обшивки гофрированные. При растирании на полке гофры, которая ближе к «растирателю», клей смешивается лучше, а на дальней полке (от растирателя) клей смешивается хуже. [60]

Все вышесказанное приводит к некачественному приклеиванию обшивок к утеплителю. При втором методе клей наносится с помощью наконечника (в некоторых случаях под давлением), смонтированного на перемещающийся рычаг, совершающий возвратно-поступательные движения. Два компонента клея полностью смешиваются в наконечнике, клей равномерно распределяется по всей поверхности обшивки вне зависимости от глубины и конфигурации профиля металла. [60]

Заключительным этапом формирования сэндвич-панели является соединение всех элементов. На первый лист обшивки укладывается утеплитель с нанесенным клеем, после утеплитель накрывается вторым листом обшивки. Пакет из нескольких конструкций переносится на пресс, где выдерживается до отверждения клея. Механизм прессования показан на рисунке 11. Время отверждения указано в инструкции к клею. [60]



Рисунок 11– Выдержка сэндвич-панели под прессом

При производстве сэндвич-панелей экономят, в основном, на толщине

обшивок и плотности минераловатной плиты. Если изначально линия была предусмотрена под применение металла толщиной 0,6-0,7 мм, то в процессе производства начинают применять металл 0,45-0,5 мм. [60]

Такая экономия приводит к совершенно другой работе конструкции. Размеры профилированной обшивки (высота и ширина гофры) должны подбираться, исходя из толщины металла обшивки (ширина верхней полки гофры должна быть не более 30 толщин обшивки), поэтому прокаточные ролики, используемые для металла толщиной 0,7 мм, не подходят для применения металла толщиной 0,5 мм, так как существенно изменяются критические напряжения местной устойчивости гофры. [60]

Этим конечно можно объяснить сильные отличия в величине несущей способности сэндвич-панелей различных производителей (по каталогам производителей несущая способность панелей одинаковой толщины и при одинаковых пролетах отличается в 2 раза). Для обеспечения безопасной эксплуатации ограждающих конструкций необходима разработка единой методики оценки несущей способности сэндвич-панелей. [60]

Сэндвич-панели с применением минераловатного утеплителя в качестве среднего слоя хорошо себя зарекомендовали в строительной практике европейских стран. [61]

Однако в суровых российских условиях величины снеговых нагрузок могут достигать 5,6 кПа, а с учетом влияния снеговых мешков нагрузки могут увеличиваться в 4 раза. При этом на несущую способность влияют такие воздействия: длительность действия нагрузок, многократность повторения и перепад температур. [61]

Рассматривая достоинства и недостатки различных сэндвич-панелей, можно сделать вывод, что ограждения из сэндвич-панелей максимальной заводской готовности значительно менее трудоемки при монтаже и поэтому предпочтительнее для использования в большинстве районов нашей страны по сравнению с пространственными блоками покрытий и ограждений с

послойным монтажом. Сэндвич-панель с негорючим ортотропным утеплителем из минеральной ваты, который совмещает несущую и ограждающую функции, позволяют расширить область применения сэндвич-панелей максимальной заводской готовности, сократить сроки строительства и, в конечном итоге, получить значительный экономический эффект. [61]

1.2.3 Особенности монтажа сэндвич-панелей

На рисунке 12 показан монтаж стеновых сэндвич-панелей, который начинают с крайней оси фасада.



Рисунок 12 - Монтаж стеновых сэндвич-панелей

При механизированном способе монтажа сэндвич-панелей учитывают недопустимость превышения расстояния между захватами и прогонами несущих металлоконструкции. В то же время из соображений устойчивости при подъеме и перемещении сэндвич-панели расстояние между захватами должно быть не более 2,5 м и свес концов сэндвич-панели от 0,4 до 0,5 м. [62]

На рисунке 13 показано крепление для монтажа сэндвич панелей.

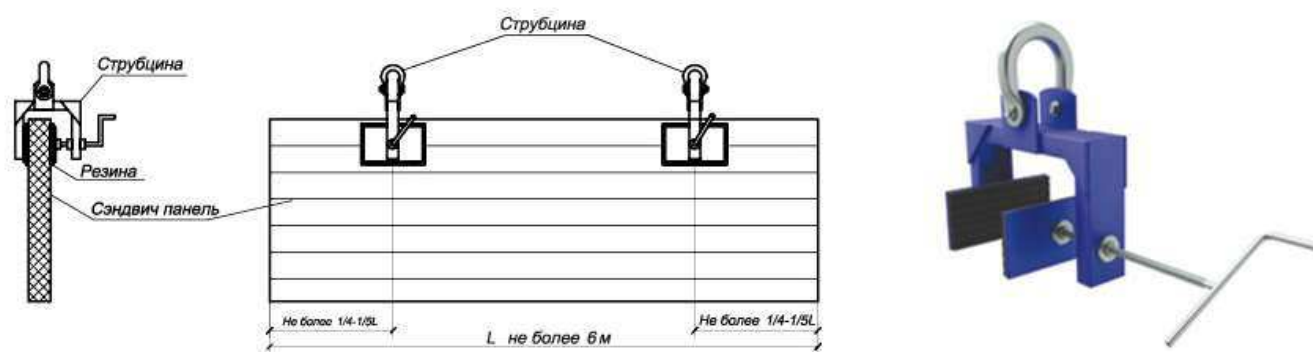


Рисунок 13 - Крепление для монтажа сэндвич панелей

По расположению фасадные сэндвич-панели монтируют горизонтально или вертикально (с горизонтальной или вертикальной раскладкой). Крепят сэндвич-панели к колоннам или к стойкам фахверка – при горизонтальной раскладке; к цоколю или стальным прогонам – при вертикальной раскладке. [62]

Во избежание возникновения промерзаний или мостиков холода в процессе эксплуатации здания, зазоры между торцами сэндвич-панелей или торцом и цоколем уплотняют монтажной пеной, процесс уплотнения стыков показан на рисунке 14. [62]



Рисунок 14- Уплотнение монтажной пеной стыков сэндвич-панелей

Для защиты от влаги используют нащельники из оцинкованного стального листа толщиной 0,5-0,55 мм с полимерным покрытием. [62] На рисунке 15 показаны виды нащельников из оцинкованного стального листа.

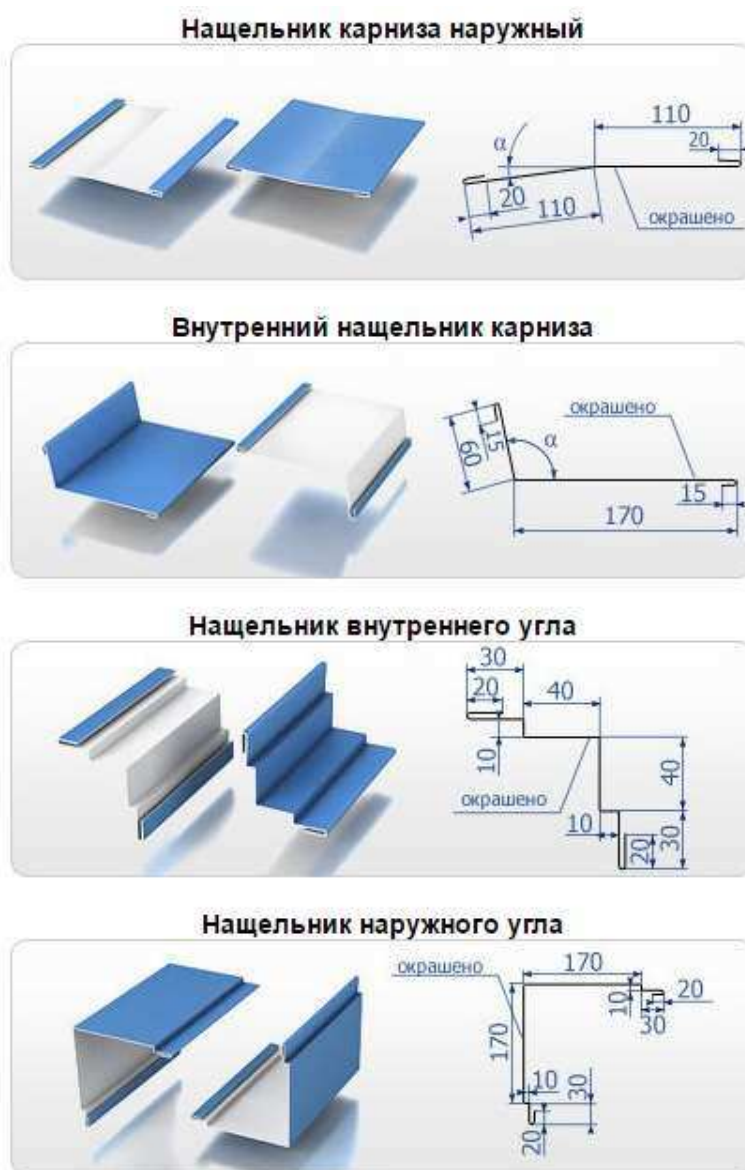


Рисунок 15 – Виды нащельников из оцинкованного стального листа

Для уплотнения нащельников и различных фасонных элементов применяют самоклеящуюся уплотнительную ленту или силиконовый герметик. Крепление фасонных элементов к обшивкам сэндвич-панелей возможно комбинированными заклепками или самосверлящими шурупами. [62]

Снижение воздухопроницания стены при опирании на несущие конструкции достигается укладыванием торцов сэндвич-панелей на полосы органического герметика и заделывание стыков монтажной пеной. [62]

Большие двери крепят к установленному у внутренней поверхности стены металлическому каркасу. Небольшие двери и окна, в том числе врезанные в конструкции стандартной сэндвич-панели, устанавливаются на подкрепляющие скобы. Для надежного соединения внутренней и наружной поверхности сэндвич-панели и создания более жесткого крепления скобы крепят по кромке панели на самосверлящие шурупы с шагом 500 мм. [62]

Монтаж кровельных сэндвич-панелей ведут с вертикальной или горизонтальной раскладкой. Вертикальная раскладка является оптимальной при высоте помещений до 3 м. Сэндвич-панели крепят к перекрытию таким образом, чтобы исключать передачу нагрузки от перекрытия на сэндвич-панели при их прогибах. [62]

Использование кровельных сэндвич-панелей исключает необходимость дополнительной гидроизоляции и существенно сокращают сроки проведения монтажных работ, а геометрия сэндвич-панелей разработана с учетом больших снеговых нагрузок. [62] Для безупречной стыковки сэндвич-панелей (по ширине) разработаны специальные виды замковых соединений, представленные в таблице 5.

Таблица 5 – Виды замковых соединений сэндвич-панелей

№	Вид соединения	Описание соединения
1	Z-Lock Классический замок	
		Значительно увеличивает скорость монтажа, повышает огнестойкость конструкции, гарантирует минимум теплотерь при надежном герметизации стыков

№	Вид соединения	Описание соединения
2	Энергосберегающий замок	
		Имеет много общего с классическим замком, применяется для сэндвич-панелей ширина, которая не менее 1150 мм
3	Скрытый замок	
		Повышает уровень теплоизоляции, отличается эстетичностью
4	Кровельный замок	
		Классический кровельный замок обеспечивает достаточную герметизацию стыков сэндвич-панелей

Монтаж кровельных сэндвич-панелей монтируют рядами от свеса по направлению к коньку. Первая сэндвич-панель должна формировать свес. Вторую обрезают в месте нахлеста, покрывают герметиком и прикрепляют к опоре первой сэндвич-панели. Закончив укладку первого и второго ряда, начинают выполнять продольное межпанельное соединение. Следующий, третий ряд также начинают снизу – и так далее. [62]

При монтаже доборных элементов все места соприкосновения обрабатывают силиконовым герметиком. Поперечный стык кровельных сэндвич-панелей выполняют с нахлестом 300 мм при уклоне 5-10° (9-18%) и 200 мм при уклоне 10-20° (18-36%). [62]

У верхней сэндвич-панели снизу обрезают стальную обшивку примерно на величину нахлеста. Удаляют также и слой утеплителя. На верхний профиль расположенной снизу сэндвич-панели наносят соответствующий герметик (бутилкаучуковый или силиконовый). [62]

После крепления сэндвич-панели к каркасу выполняют механическое прочное соединение через продольные узлы соединения в замках. Сразу перед укладкой сэндвич-панелей с внутренней стороны в паз замка закладывают силиконовый герметик. [62]

1.3 Проблемы при эксплуатации сэндвич-панелей

Касенов А.Е., Закиров М.Р., Кулешов И.В. в своей работе [72] выявили проблемы и недостатки при эксплуатации сэндвич-панели. Для обеспечения высоких теплофизических характеристик и долговечности часто применяют в качестве теплоизоляции пенополиуретан, пенополиизоцианурат, а также пенополистирол. Но данные материалы имеют вторую и третью степень горючести, что накладывает некоторые ограничения на целесообразность использования таких сэндвич-панелей. Чтобы снизить степень пожарной опасности, применяют сэндвич-панели с утеплителем из минеральной ваты. Однако сэндвич-панели из минеральной ваты имеют множество недостатков.

Во-первых, из практики использования было выявлено, что часто в процессе эксплуатации кровельных сэндвич-панелей из минеральной ваты на нижнем листе сэндвич-панели выпадает конденсат, либо, при нарушении герметизаций влага проникает в толщу утеплителя, и как следствие начинает промерзать. Через одну-две зимы в такой кровельной сэндвич-панели произойдет процесс отслаивания утеплителя от стального листа, выпучивание и расслоение собственно утеплителя. [72]

На рисунке 16 показано отслоение утеплителя от стального листа кровельной сэндвич-панели из минеральной ваты.



Рисунок 16 – Отслоение утеплителя от стального листа

Во-вторых, немаловажной проблемой в процессе эксплуатации являются значительные напряжения и деформации при температурно-влажностных воздействиях окружающей среды. Зимой разница температур внутреннего слоя трехслойной сэндвич-панели (находящегося в теплом помещении) и внешнего (на морозном воздухе) приводят к возникновению в сэндвич-панелях изгибаемых напряжений, а так же к ползучести сердечника – со временем происходит ухудшение прочностных характеристик волокнистых материалов. В особенности для кровельных панелей, где в учет входит неизбежно скапливающийся снег, в зависимости от уклона, соответственно, и его количество. Вдобавок на поверхности сэндвич-панели снег подтаивает, образуются наледи. В сумме это приводит к деформациям трехслойных сэндвич-панелей, смятию на опорах, прогибу в пролете. Причем смятие на опорах, прогиб в пролете будет год за годом увеличиваться, что приведет к разрушению панели. [72]

На рисунке 17 показано смятие сэндвич-панели на опорах. В процессе деформации происходит напряжение сэндвич-панели, нагрузка с панели переходит на саморезы, которые со временем начинают «вылезать» из сэндвич-панели. Из-за смятия сэндвич-панелей под прокладку самореза будет

проникать влага, вследствие чего будет накапливаться в сердечнике сэндвич-панели, при этом начнет развиваться процесс коррозии самореза.



Рисунок 17 - Смятие сэндвич-панелей на опорах

Также смятие сэндвич-панели возникает из-за недостаточной квалификации монтажников, по вине которых происходит перетягивание или недотягивание саморезов, что приводит к снижению несущей способности панели.[72] .

На рисунках 18, 19, 20 показано смятие сэндвич-панелей за счет недостаточной квалификации монтажников.



Рисунок 18 - Смятия сэндвич-панелей



Рисунок 19- Смятие сэндвич-панелей из-за перетянутых саморезов



Рисунок 20- Смятие сэндвич-панелей на опорах из-за перетянутых саморезов

В-третьих, из-за недобросовестных производителей работ часто, в особенности нынешнего «бережливого» производства, нарушается технология изготовления сэндвич-панелей, а также нарушение складирования сэндвич-

панелей на строительной площадке. На рисунках 21, 22 показаны нарушения складирования сэндвич-панелей при атмосферных осадках

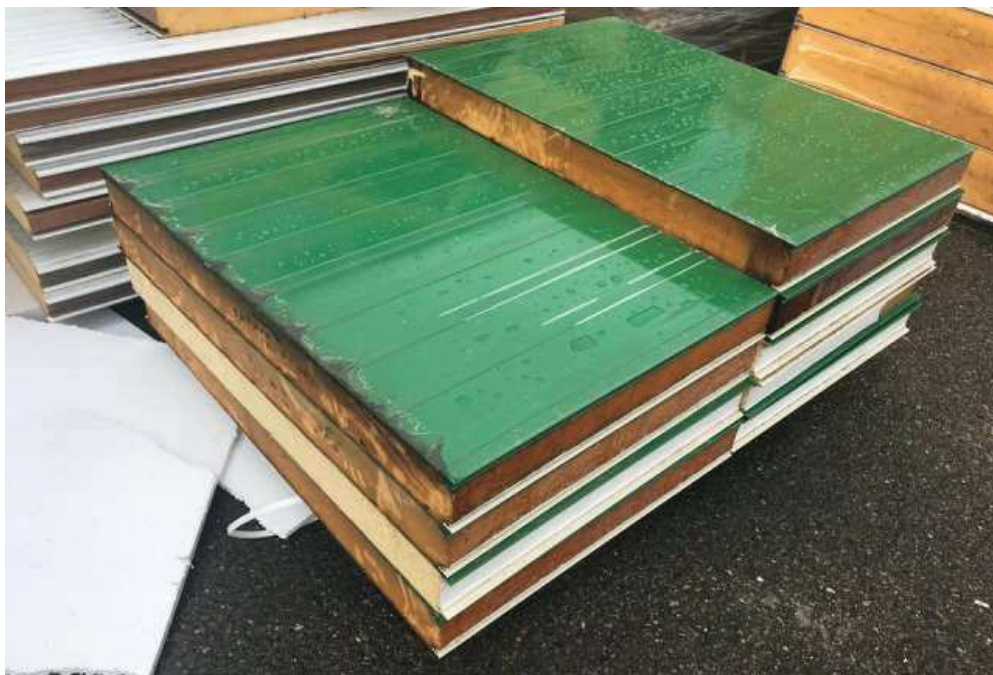


Рисунок 21- Нарушение складирования сэндвич-панелей при атмосферных осадках (дождь)



Рисунок 22- Нарушение складирования сэндвич-панелей при атмосферных осадках (снег)

На рисунке 23 показано правильное складирование сэндвич-панелей на строительной площадке.



Рисунок 23 - Правильное складирование панелей на строительной площадке

В-четвертых, так как заказчик никаким другим способом, как за свои деньги, не может проверить качество изготовления сэндвич-панелей, а также проследить за качеством строительства, из этого следует, что качество используемого материала при изготовлении сэндвич-панели и в процессе строительства здания может проявиться сразу в процессе эксплуатации, через 2-3 года. [72]

На рисунках 24, 25, 26 показаны вид некачественного утеплителя.



Рисунок 24 – Вид утеплителя ненадлежащего хранения



Рисунок 25- Утеплитель сомнительного качества



Рисунок 26- Вид утеплителя после длительного хранения при атмосферных осадках

Из всего вышперечисленного, следует, что недостаточно изучен вопрос поведения сэндвич-панелей на действие температурных воздействий в эксплуатируемых зданиях, что требует решения данного вопроса, который интересен с научной точки зрения и важен с практической стороны. В связи с этим возникает необходимость в проведении экспериментально-теоретического исследования сэндвич-панелей в эксплуатируемых зданиях.

Глава 2 Экспериментально-теоретическое исследование и оценка состояния сэндвич-панелей в эксплуатируемых зданиях

2.1 Тепловизионное обследование эксплуатируемых зданий из сэндвич-панелей на наличие мостиков холода

С целью выявления дефектов в сэндвич-панелях, необходимо произвести тепловизионное обследование эксплуатируемых зданий. При обследовании основное внимание уделялось:

- визуальным дефектам фасадов эксплуатируемых зданий из сэндвич-панелей;
- узлам сопряжений сэндвич-панелей.


Задачей обследования было выявление у объектов исследования, зон с повышенной температурой с наружной части обследуемых зданий.

При подготовке к обследованию значительное внимание уделялось планируемой технике обследования, которые позволили получить достоверные данные с минимальными затратами времени и необходимой точностью.

В таблице 6 представлены эксплуатируемые объекты для тепловизионного обследования в г. Абакане, Республике Хакасии.

Таблица 6 – Объекты исследования

Объекты исследования	Описание
Объект 1	
	Расположение объекта: г Абакан ул Торосова 9 Назначение здания: Торговое Материал стен: сэндвич-панели с минераловатным утеплителем Толщина стены: $\delta=150$ мм

Объекты исследования	Описание
Объект 2	
	<p>Расположение объекта: г Абакан ул Некрасова 31 А Назначение здания: Торговое Материал стен: сэндвич-панели с минераловатным утеплителем Толщина стены: $\delta = 150$ мм</p>
Объект 3	
	<p>Расположение объекта: г Абакан, ул Игарская 11 Назначение здания: Торговое Материал стен: сэндвич-панели с минераловатным утеплителем Толщина стены: $\delta = 120$ мм</p>
Объект 4	
	<p>Расположение объекта: г Абакан, ул Игарская 11А Назначение здания: Торговое Материал стен: сэндвич-панели с минераловатным утеплителем Толщина стены: $\delta = 120$ мм</p>

Тепловизионный контроль выполнен тепловизором марки FLIR B15. Мониторинг за вышеперечисленными объектами проводился в декабре 2018 г. в дневное время. На момент обследования объекты отапливались. Обследование производилось при отсутствии ветра, атмосферных осадков,

тумана и задымленности. В процессе измерений ограждающие конструкции обследуемых зданий не подвергались воздействию прямого и отраженного солнечного облучения.

В ходе тепловизионного контроля были выполнены следующие виды работ:

- осмотр объектов с помощью тепловизора для формирования общей характеристики объектов и выявления участков, подлежащих дальнейшему термографированию;


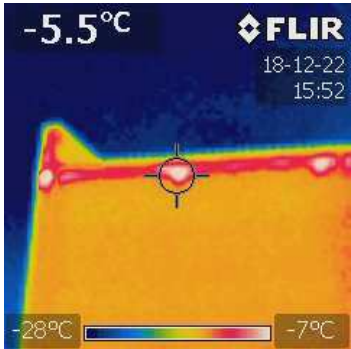

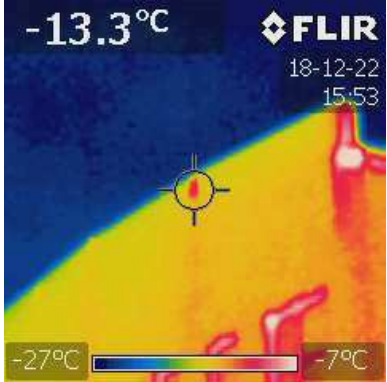

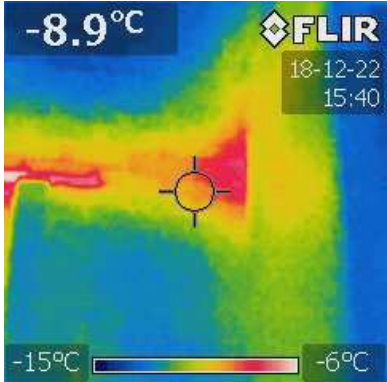
- обзорное термографирование наружных поверхностей ограждающих конструкций для выявления температурных аномалий;


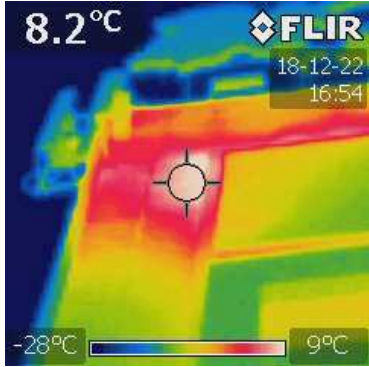

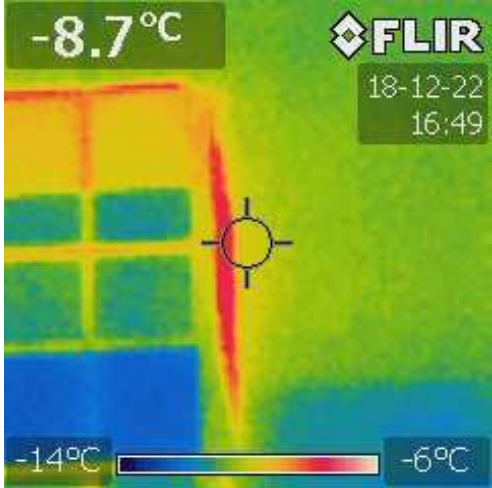

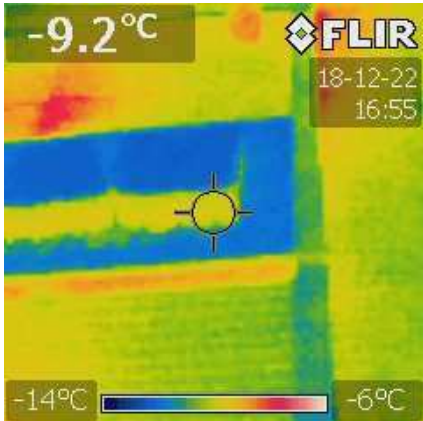
- детальное термографирование выделенных участков наружных поверхностей ограждающих конструкций для уточнения температурных аномалий.


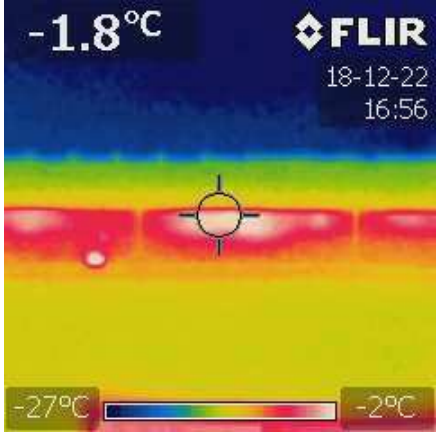

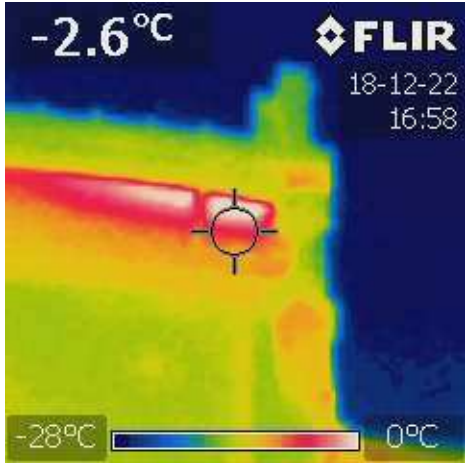

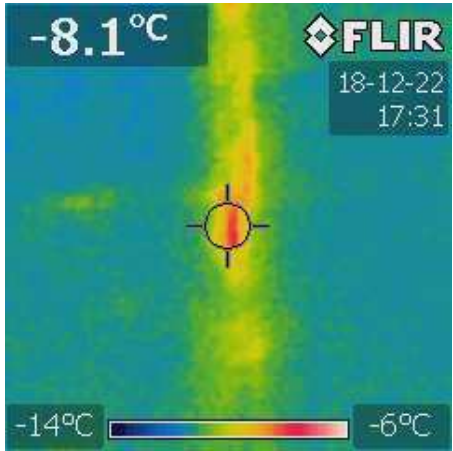
В таблице 7 представлены результаты тепловизионного обследования объектов, где в качестве результата были получены термограммы теплового излучения фасадов.


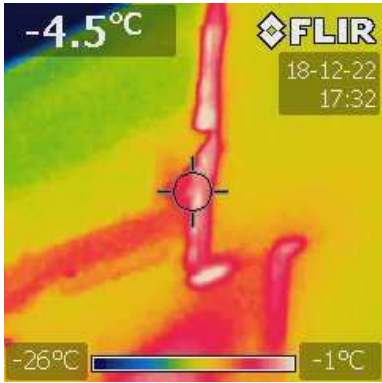

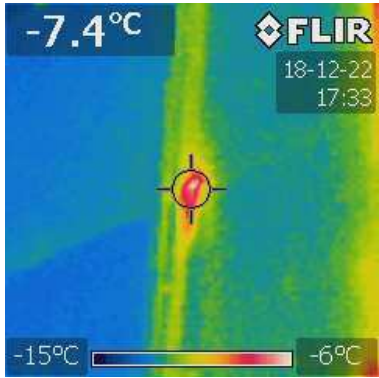

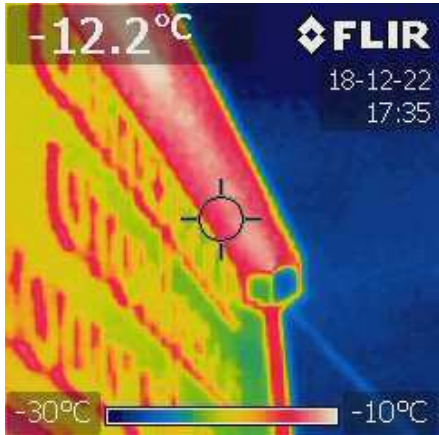
Таблица 7- Результаты тепловизионных измерений


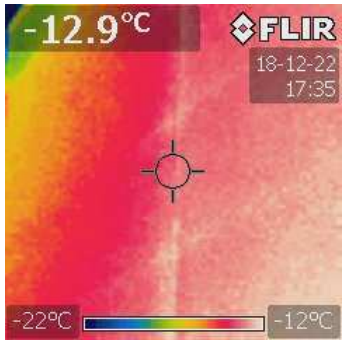

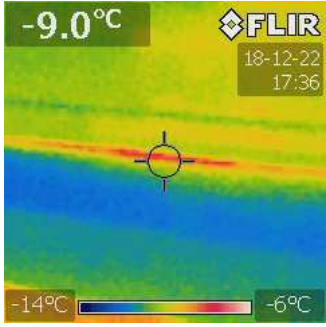
№	Фото обследования	Изображение теплового излучения
Объект 1		
1		

№	Фото обследования	Изображение теплового излучения
2		
3		
Объект 2		
4		

№	Фото обследования	Изображение теплового излучения
5		
6		
7		

№	Фото обследования	Изображение теплового излучения
8		
9		
Объект 3		
10		

№	Фото обследования	Изображение теплового излучения
11		
12		
Объект 4		
13		

№	Фото обследования	Изображение теплового излучения
14		
15		

По термограммам в таблице 7 видно, что фактическая температура наружной поверхности ограждающих конструкций из сэндвич-панелей колеблется в пределах $(-1,1...-13,3)^{\circ}\text{C}$, в среднем температура в местах детального обследования составляет $-7,3^{\circ}\text{C}$. В таблице 8 сведены значения температур наружных поверхностей обследованных зданий.

Таблица 8- Результат обследований зданий

Объект	Температура наружного воздуха t_n , $^{\circ}\text{C}$				
	1	2	3	Средняя t_n , $^{\circ}\text{C}$	Температура наружного воздуха при измерении $t_{n,в}$, $^{\circ}\text{C}$
1	-1,1	-5,5	-13,3	-6,63	-12
2	-8,9	-1,8	-2,6	-4,43	-15
3	-8,1	-4,5	-7,4	-6,67	-12
4	-12,2	-12,9	-9,0	-11,4	-11
	$t_{n, cp} = -7,28^{\circ}\text{C}$				$t_{n,в, cp} = -12,5^{\circ}\text{C}$

При визуальном обследовании зданий обнаружилось, что в качестве утеплителя в узлах сопряжений сэндвич-панелей используется монтажная пена. Для улучшения архитектурного облика здания в местах соединений сэндвич-панелей закрепили нащельники, при этом стык сэндвич-панелей остается незагерметизирован, в некоторых местах нащельники отсутствуют, в следствии чего, в узловое соединение попадает влага и ультрафиолетовый свет, что является причиной разрушения утеплителя (монтажной пены).

Из тепловизионного обследования следует, что зоны с повышенной температурой обследуемых зданий наблюдаются в узлах сопряжения ограждающих конструкций из сэндвич-панелей. Уже по анализу изменения температуры в узлах сопряжения ограждающих конструкций при эксплуатации зданий можно предположить, в каких узловых соединениях возможны процессы выпадения и накопления конденсационной влаги.

Установлено, что наиболее уязвимыми узлами являются:

- 1) Соединения стеновых панелей между собой;
- 2) Узлы конструкции кровли
- 3) Опираение стеновой сэндвич-панели на цоколь здания

2.2 Расчет узлов сопряжений сэндвич-панелей в программном комплексе Elcut с позиции процесса теплопереноса и анализ результатов расчета

Для проведения численных исследований в программном комплексе Elcut Professional необходимы следующие исходные данные:

- свойства теплопроводности λ используемых строительных материалов приведены в таблице 9

- граничные температурные условия внутренней и наружной поверхностей приведены в таблице 10

- коэффициенты теплопередачи внутренней и наружной поверхности ограждающих конструкций приведены в таблице 10

- вычерченные узлы в программе AutoCAD масштаба 1:1 формата DXF

Таблица 9 - Характеристики материалов используемых при расчете

№ п/п	Наименование материалов	Плотность $\rho_0, \text{кг/м}^3$	Коэффициент теплопроводности λ $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$
1	Оцинкованный лист с полимерным покрытием	7850	52
2	Минераловатная плита (Rockwool)	105	0,035
3	Монтажная пена	25-35	0,033
4	Герметик	1050	0,35
5	Мастика	100	0,032

Таблица 10 - Расчетные граничные условия для расчета ограждающей конструкции

№	Параметр	Значение
1	Расчетная температура наружного воздуха $t_n, \text{ }^\circ\text{C}$	-37,0
2	Расчетная температура внутреннего воздуха $t_v, \text{ }^\circ\text{C}$	+20,0
3	Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стены $\alpha_n, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$	23,0
4	Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стены $\alpha_v, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$	8,7

Для анализа теплового потока в узлах, необходимо следовать следующим алгоритмом действий в программном комплексе Elcut Professional:

1. Выбрать тип создаваемой модели - теплопередача стационарная.
2. Определить рабочую область и задать геометрию модели.
3. Указать граничные условия модели.
4. Принять теплофизические свойства и начальные условия.
5. Задать параметры сетки элементов и ее построение.
6. Определить параметры решающего устройства и запустить расчет.
7. Настроить режим отображения результата расчетов.

8. Провести анализ полученных результатов.

Для выявления причин возникновения теплопотерь в узлах сопряжений сэндвич-панелей необходимо более детально рассмотреть узлы. Для расчета были взяты типовые проектные решения узлов соединений сэндвич - панелей.

На рисунке 27 показано соединение стеновых сэндвич - панелей между собой по продольным кромкам и крепление их к каркасу здания. Стеновые сэндвич - панели монтируются на прогон с помощью самозасверливающихся шурупов с пластмассовым колпачком и резиновой прокладкой для герметизации отверстия. Штык между сэндвич - панелями заполняется герметиком.

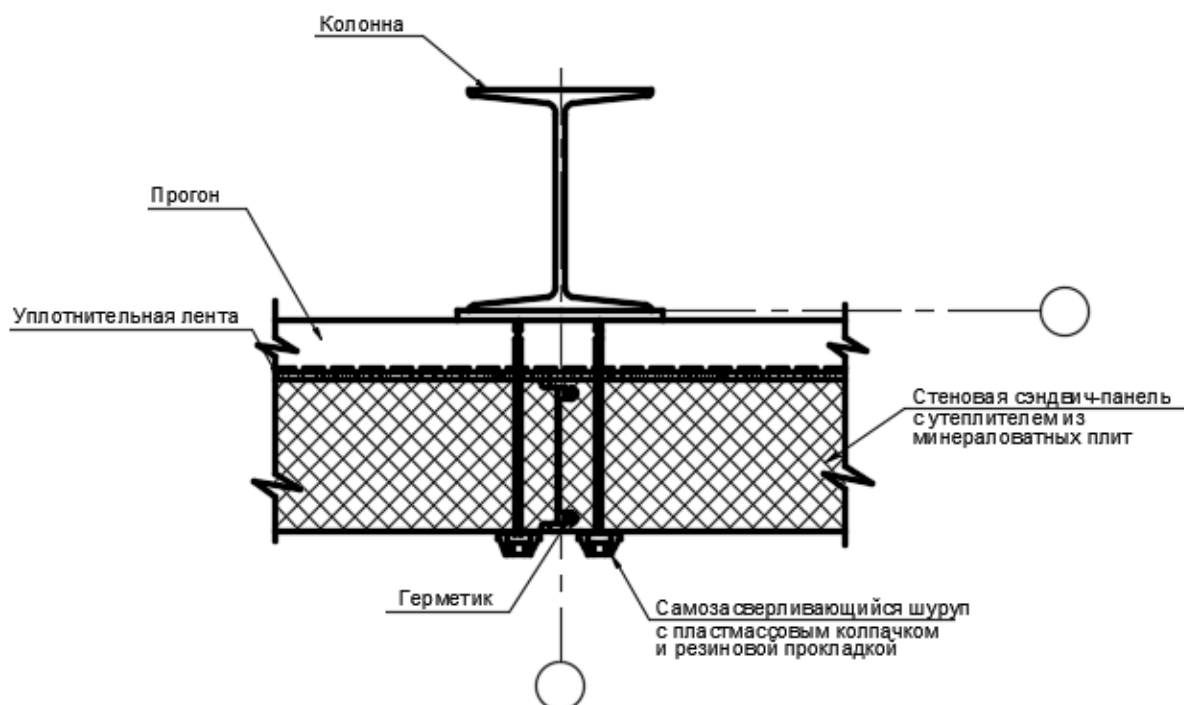
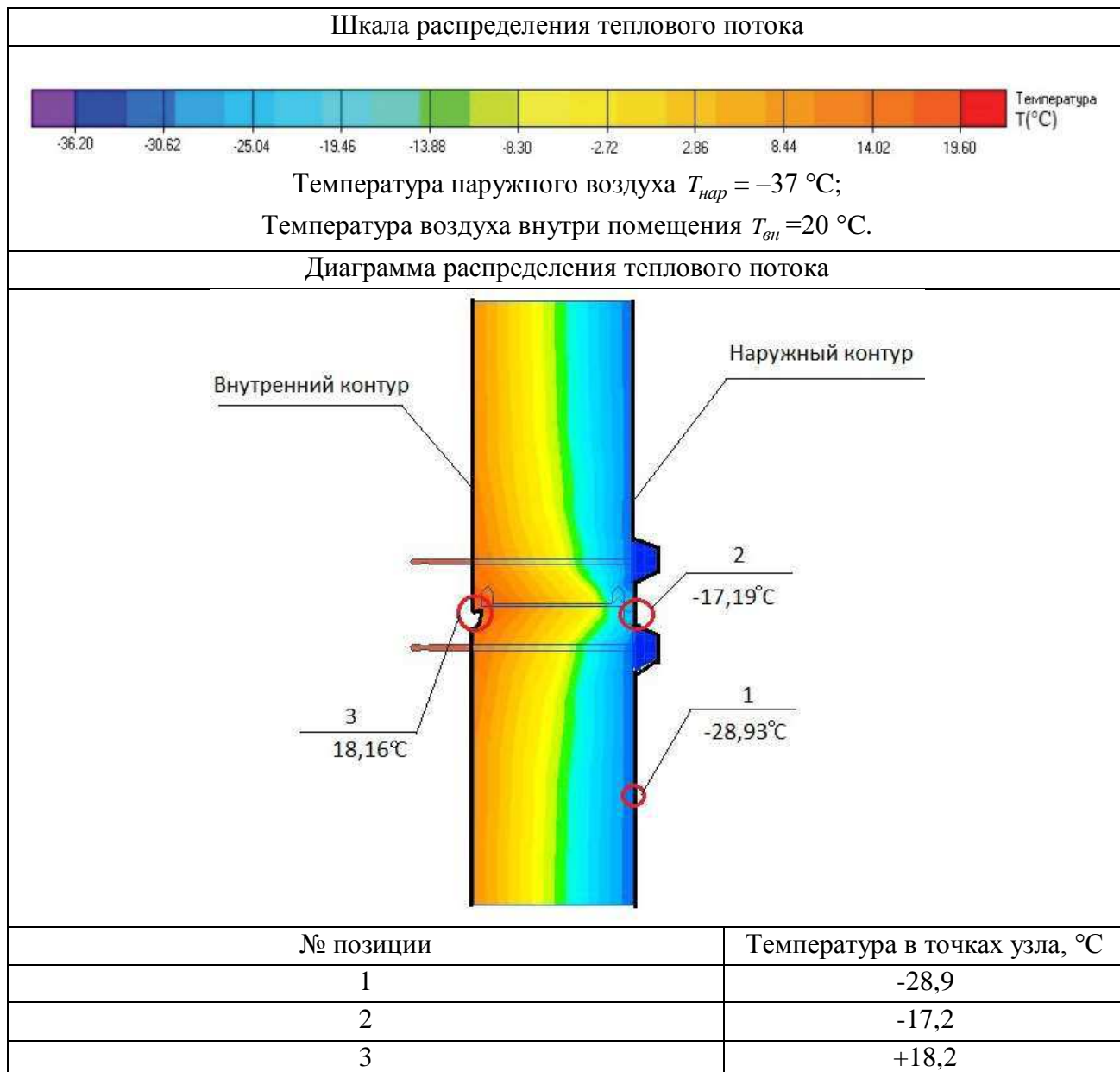


Рисунок 27 – Соединение стеновых сэндвич-панелей по продольным кромкам и крепление их к каркасу здания

По результатам компьютерного моделирования температурных полей соединения стеновых сэндвич-панелей по продольным кромкам и крепление их к каркасу здания, представленные в таблице 11, выявлено, что температура наружного контура в соединении стеновых сэндвич-панелей составляет – 17,2°C (таблица 11, точка 2), что достаточно выше от расчетного значения

температуры наружного воздуха ($-37,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Из этого следует, что в соединении стеновых сэндвич-панелей образуются теплопотери.

Таблица 11 - Результаты компьютерного моделирования температурных полей соединения стеновых сэндвич - панелей по продольным кромкам и крепление их к каркасу здания



На рисунке 28 показано угловое соединение стеновых сэндвич-панелей. Стеновые сэндвич-панели монтируются на угловую стойку с помощью самозасверливающихся шурупов. Промежуток между стеновой сэндвич-

панелью и угловой стойкой заполняется уплотнительной лентой или мастикой. Стык между стеновыми сэндвич-панелями заполняется монтажной пеной. С наружной части соединения крепятся нащельники НЩ2 с помощью самозасверливающихся шурупов. По краям нащельника НЩ2 для герметизации мажется герметик-силиконовый.

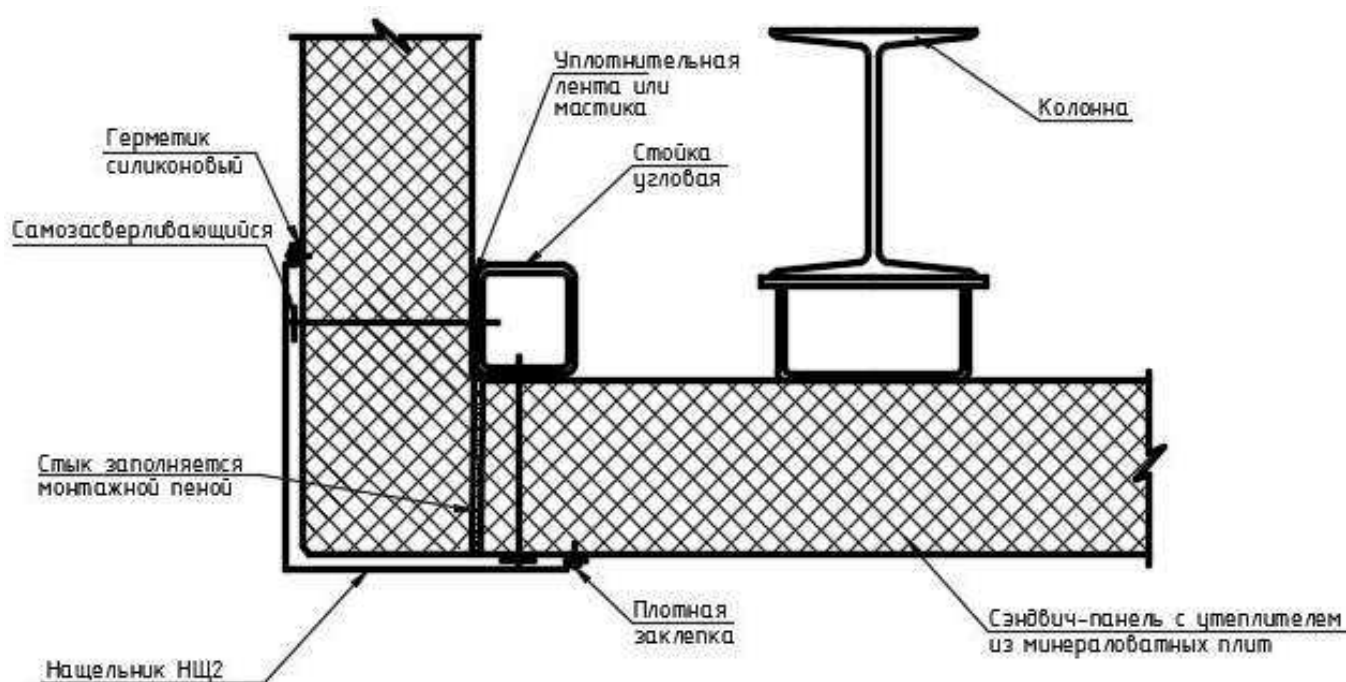
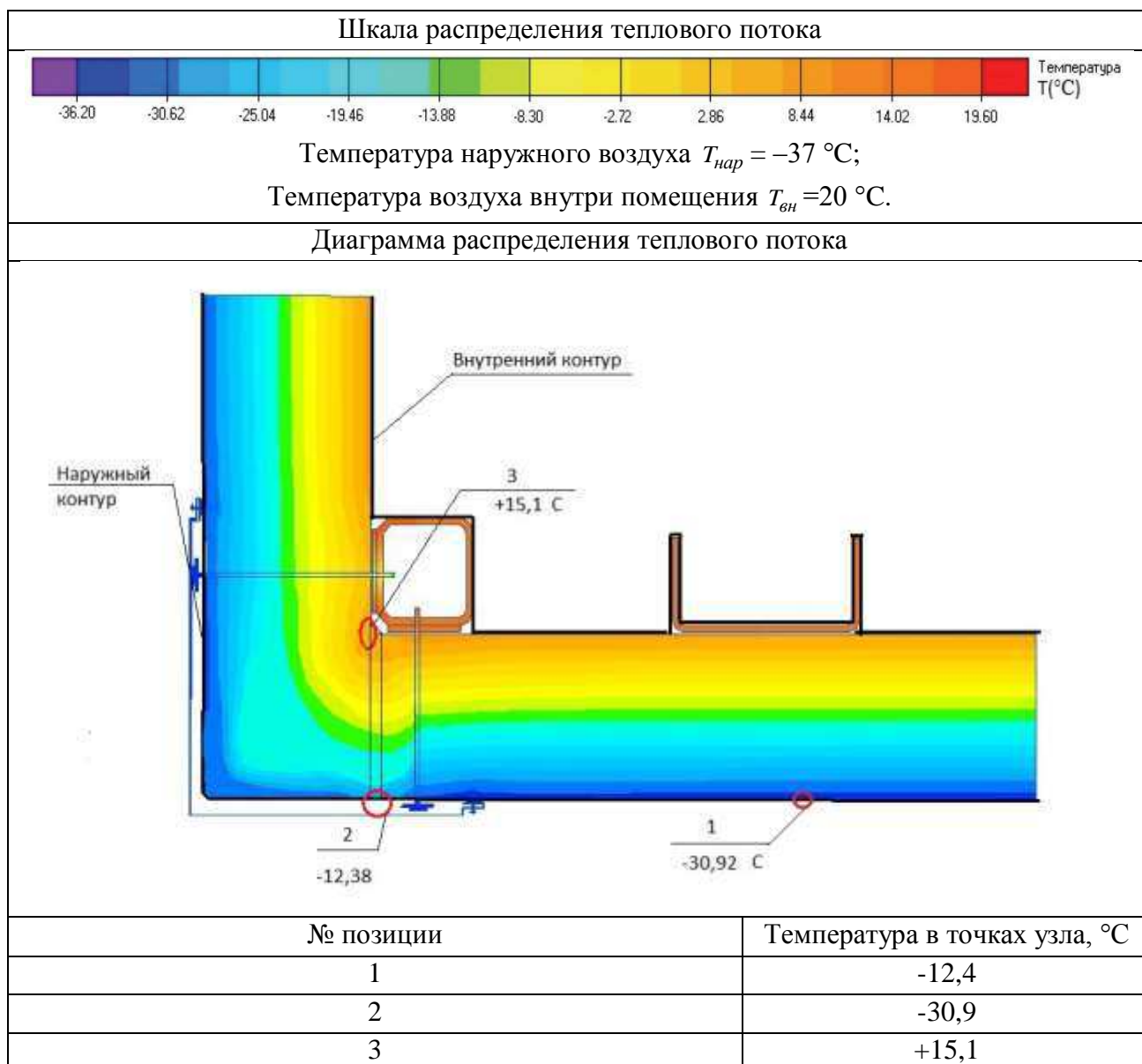


Рисунок 28 – Угловое соединение стеновых сэндвич-панелей

По результатам компьютерного моделирования температурных полей углового соединения стеновых сэндвич-панелей, представленные в таблице 12, выявлено, что температура наружного контура в соединении стеновых сэндвич-панелей составляет $-12,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблица 12, точка 1), что достаточно выше от расчетного значения температуры наружного воздуха ($-37,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Из этого следует, что в соединении стеновых сэндвич-панелей образуются теплопотери.

Таблица 12 - Результаты компьютерного моделирования температурных полей углового соединения стеновых сэндвич-панелей



На рисунке 29 показан узел конструкции карниза при внутреннем решении водостока. Кровельные сэндвич-панели монтируются на прогон из горячекатаной стали с помощью самозасверливающихся шурупов с резиновой прокладкой и пластмассовым колпачком. На самозасверливающиеся шурупы наносится герметик для герметизации отверстия. Промежуток между кровельной сэндвич - панелью и прогоном заполняется уплотнительной лентой или мастикой. Стык между стеновой сэндвич - панелью и кровельной сэндвич-панелью заполняется монтажной пеной. С внутренней и наружной

части соединения крепятся нащельники НЩ19 с помощью плоской заклепки, сверху наносится герметик-силиконовый.

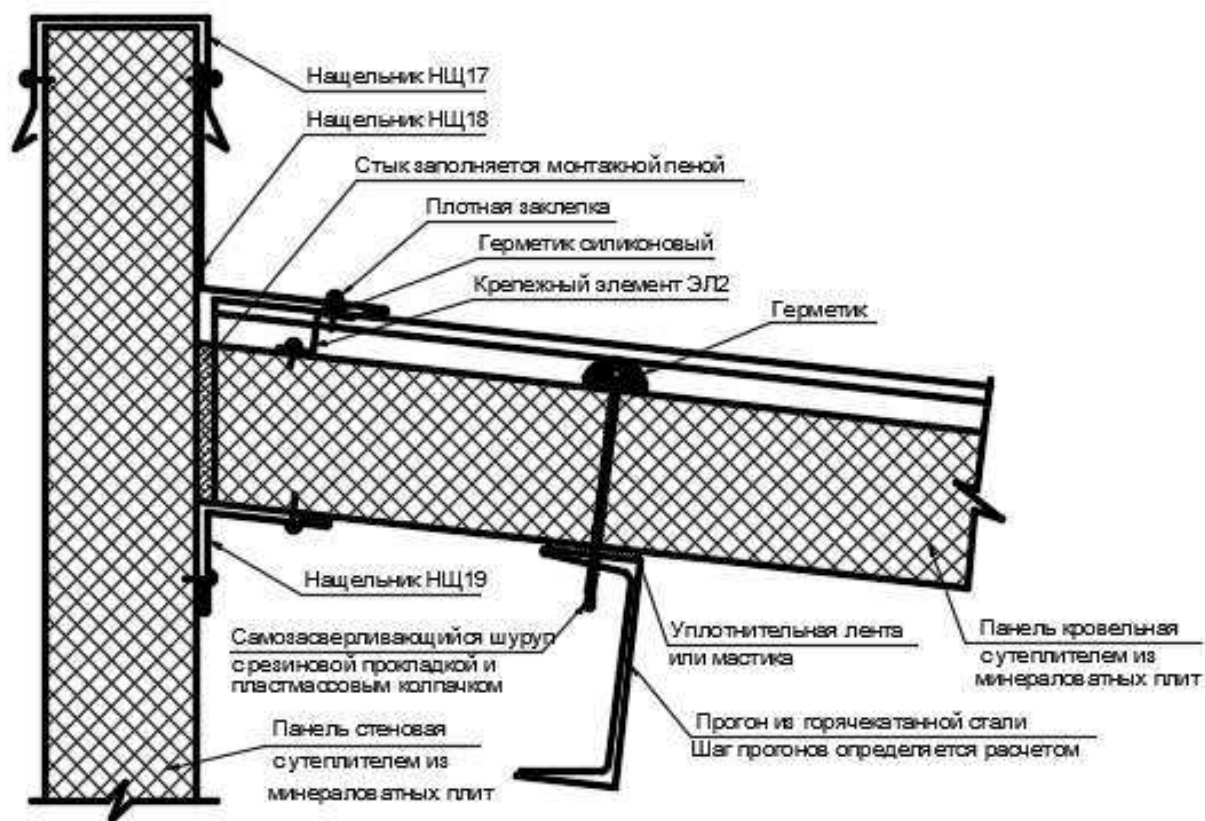
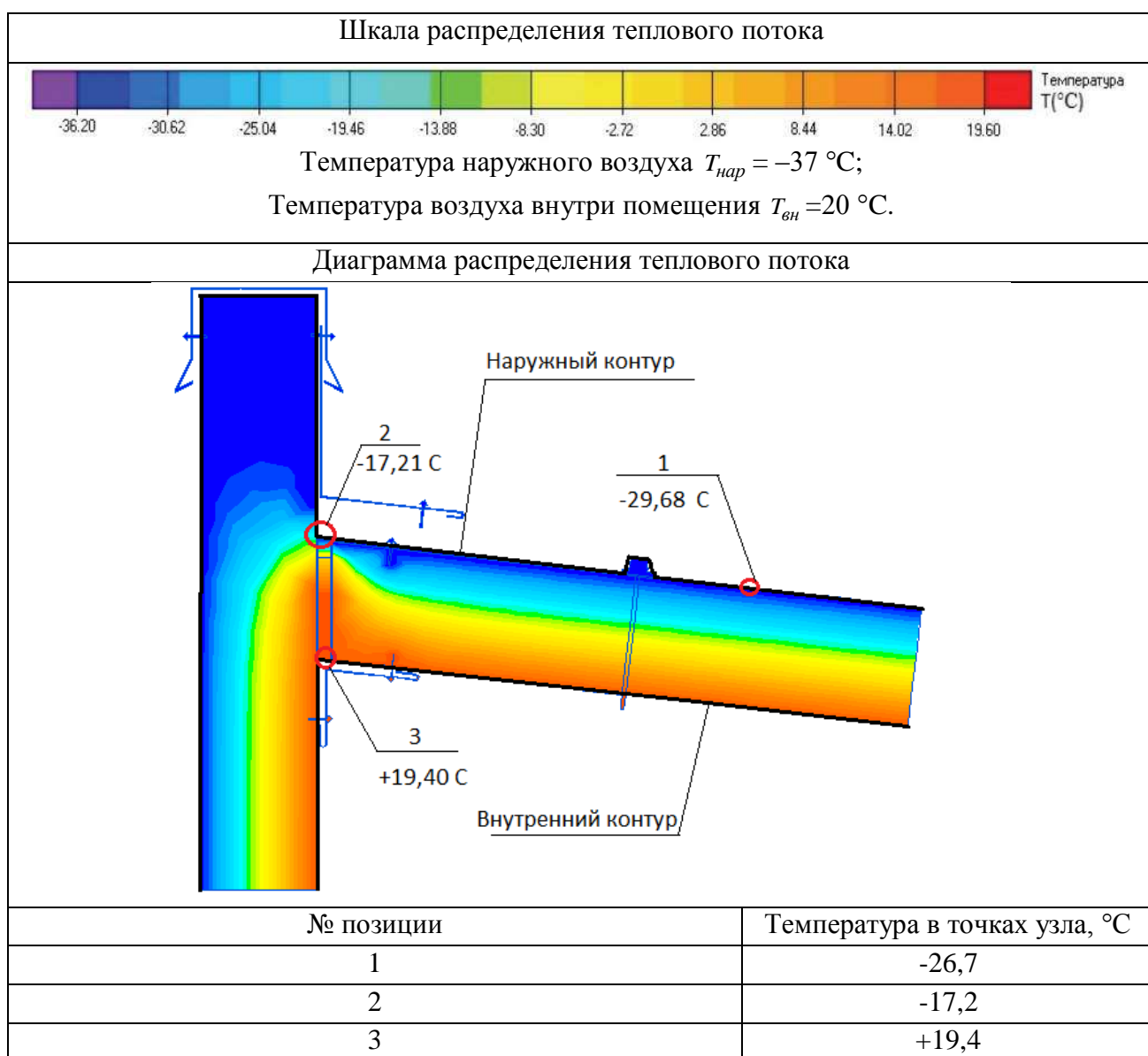


Рисунок 29 - Конструкция карниза при внутреннем решении водостока

По результатам компьютерного моделирования температурных полей узла конструкции карниза при внутреннем решении водостока, представленные в таблице 13, выявлено, что температура наружного контура в соединении стеновых сэндвич-панелей составляет $-17,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблица 13, точка 2), что достаточно выше от расчетного значения температуры наружного воздуха ($-37,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Из этого следует, что в соединении стеновых сэндвич-панелей образуются теплопотери.

Таблица 13 - Результаты компьютерного моделирования температурных полей узла конструкции карниза при внутреннем решении водостока



На рисунке 30 показан коньковый узел для кровли с уклоном 10% . Кровельные сэндвич-панели крепятся на верх стропильной конструкции с помощью самозасверливающихся шурупов с резиновой прокладкой и пластмассовым колпачком сверху мажется герметик для герметизации. Стык между кровельными панелями заполняется монтажной пеной. С внутренней и наружной части соединения крепятся нащельники НЩ14. Нащельники НЩ 14 устанавливаются с помощью плотной заклепки, сверху заклепки мажется герметик-силиконовый.

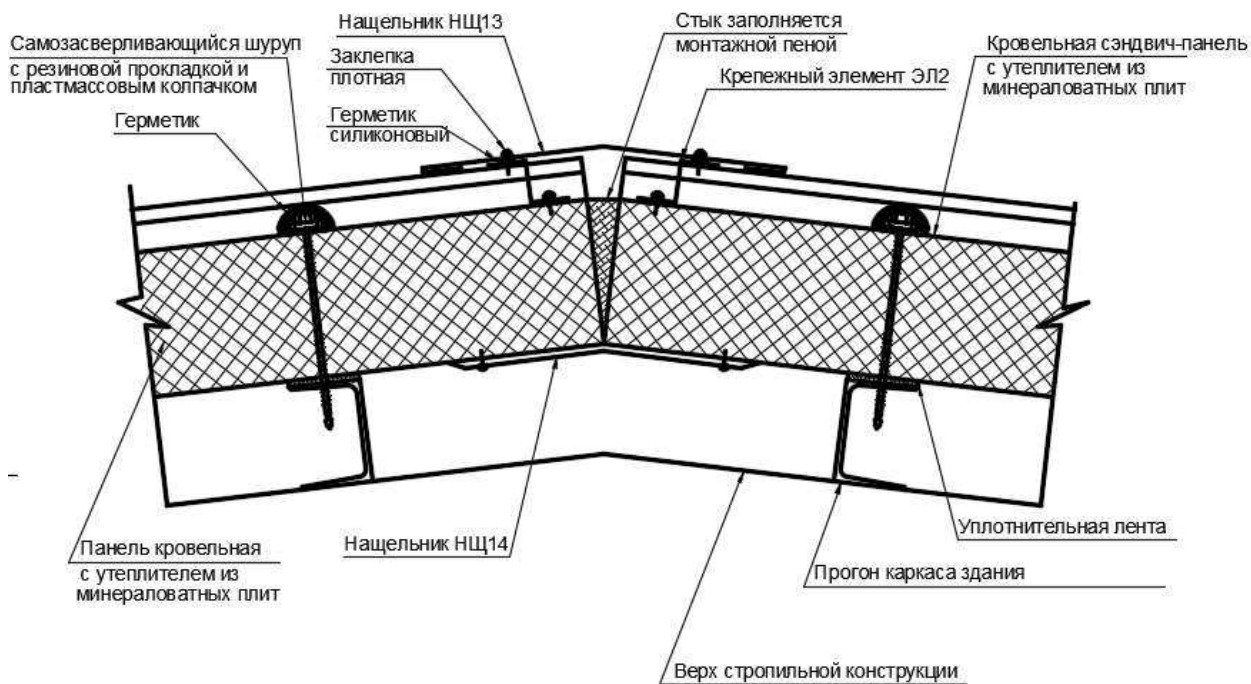


Рисунок 30 – Коньковый узел для кровли с уклоном 10%

По результатам компьютерного моделирования температурных полей узла конструкции карниза при внутреннем решении водостока, представленные в таблице 14, выявлено, что температура наружного контура в соединении стеновых сэндвич-панелей составляет $-15,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблица 14, точка 2), что достаточно выше от расчетного значения температуры наружного воздуха ($-37,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Из этого следует, что в соединении стеновых сэндвич-панелей образуются теплопотери.

Таблица 14 - Результаты компьютерного моделирования температурных полей конькового узла для кровли с уклоном 10%

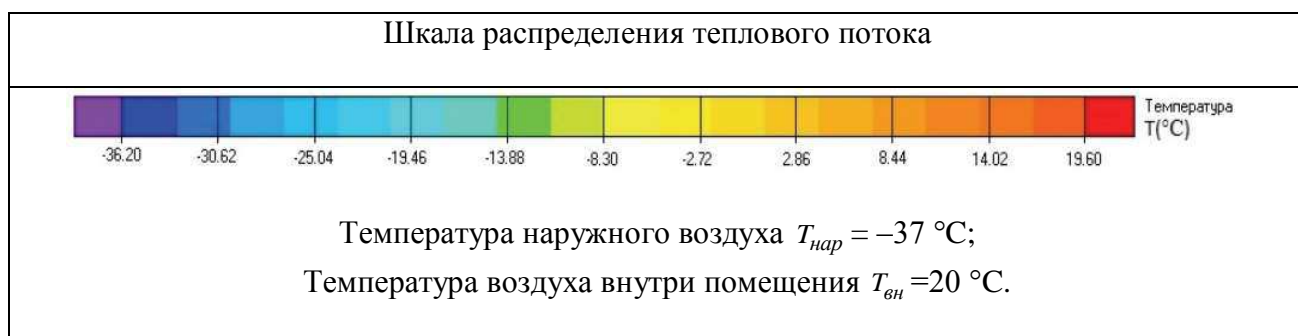
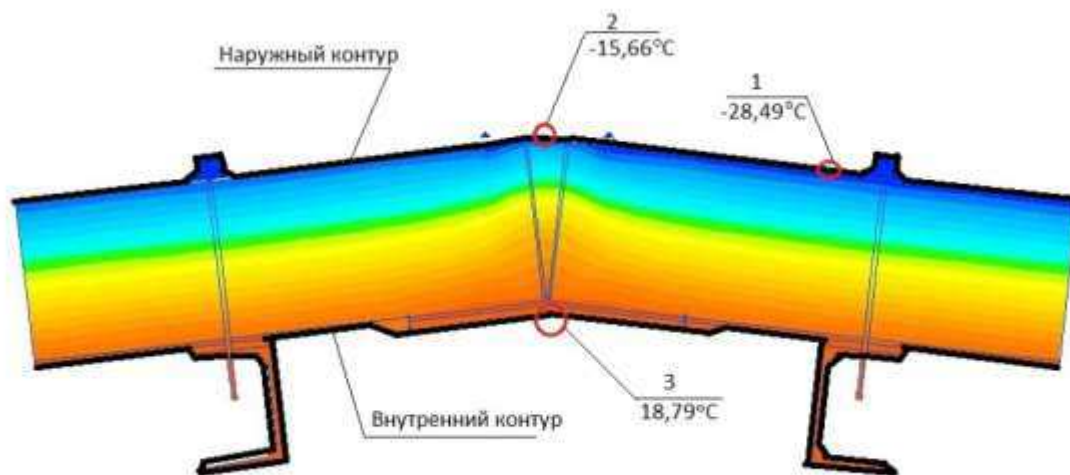


Диаграмма распределения теплового потока



№ позиции	Температура в точках узла, °С
1	-28,5
2	-15,7
3	+18,8

На рисунке 31 показан узел конструкции карниза при наружном решении водостока. Кровельная сэндвич-панель крепится в прогону каркаса здания на самозасверливающихся шурупов с резиновой прокладкой и пластмассовым колпачком сверху мажется герметик для герметизации. Между прогоном каркаса здания и кровельной сэндвич-панелью ложится уплотнительная лента. Стык между стеновой сэндвич-панелью и кровельной сэндвич-панелью заполняется монтажной пеной. С внутренней и наружной части соединения крепятся нащельники НЩ20. Нащельники НЩ 20 устанавливаются с помощью плотной заклепки, сверху заклепки мажется герметик-силиконовый.

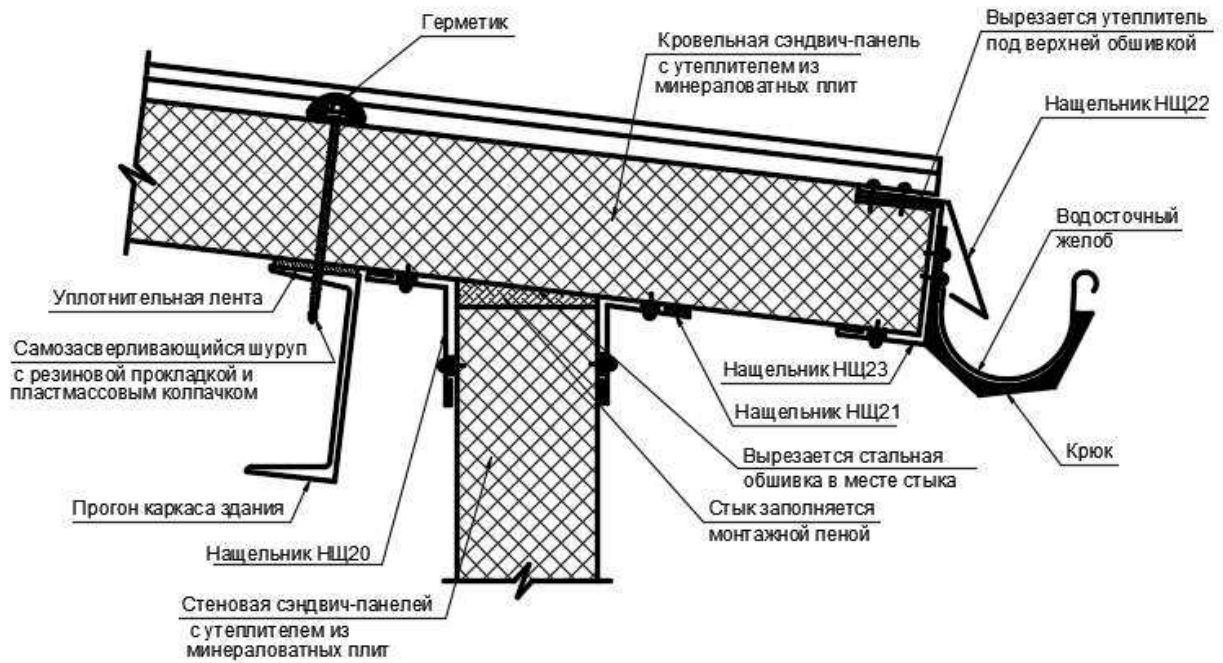


Рисунок 31- Конструкция карниза при наружном решении водостока

По результатам компьютерного моделирования (таблица 15) температурных полей узла конструкции карниза при внутреннем решении водостока, представленные в таблице 15, выявлено, что температура наружного контура в соединении стеновых сэндвич-панелей составляет $-13,3$ °C (таблица 15, точка 2), что достаточно выше от расчетного значения температуры наружного воздуха ($-37,0$ °C). Из этого следует, что в соединении стеновых сэндвич-панелей образуются теплопотери.

Таблица 15- Результаты компьютерного моделирования температурных полей узла конструкции карниза при наружном решении водостока

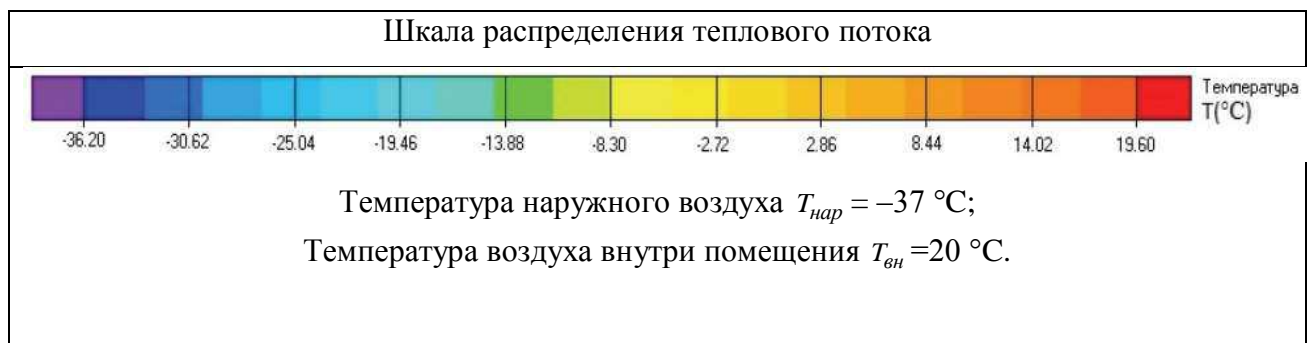
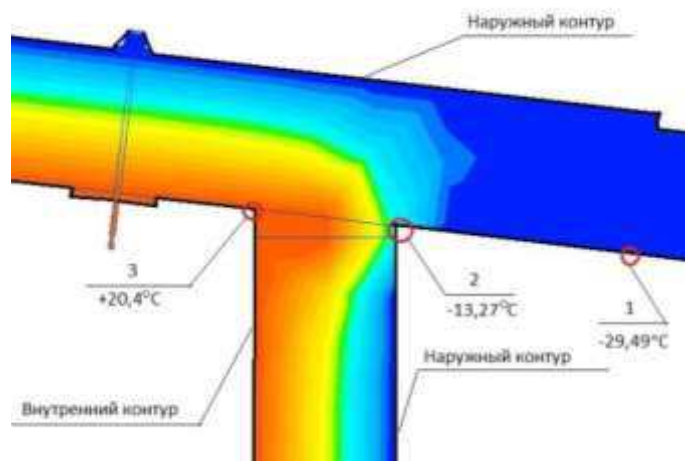


Диаграмма распределения теплового потока



№ позиции	Температура в точках узла, °С
1	-29,5
2	-13,3
3	+20,4

На рисунке 32 показано опирание стеновой сэндвич-панели на цоколь здания. При опирании сэндвич-панели цокольную часть здания обмазывают гидроизоляцией, после сэндвич-панель крепится к стойке с помощью самозасверливающихся шурупов, а стык между сэндвич-панелью и цоколем заполняется монтажной пеной. Для того чтобы вода не проникала в стык между стеной и цоколем с наружной части крепится нащельник НЩЗ с помощью плотной заклепки, сверху заклепки мажется герметик-силиконовый.

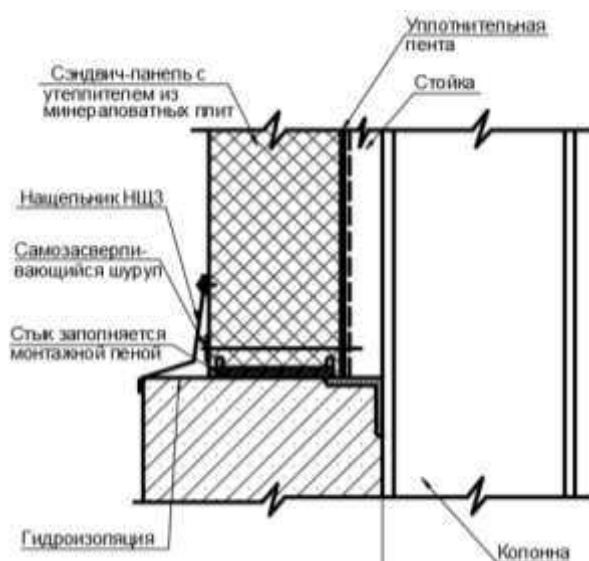
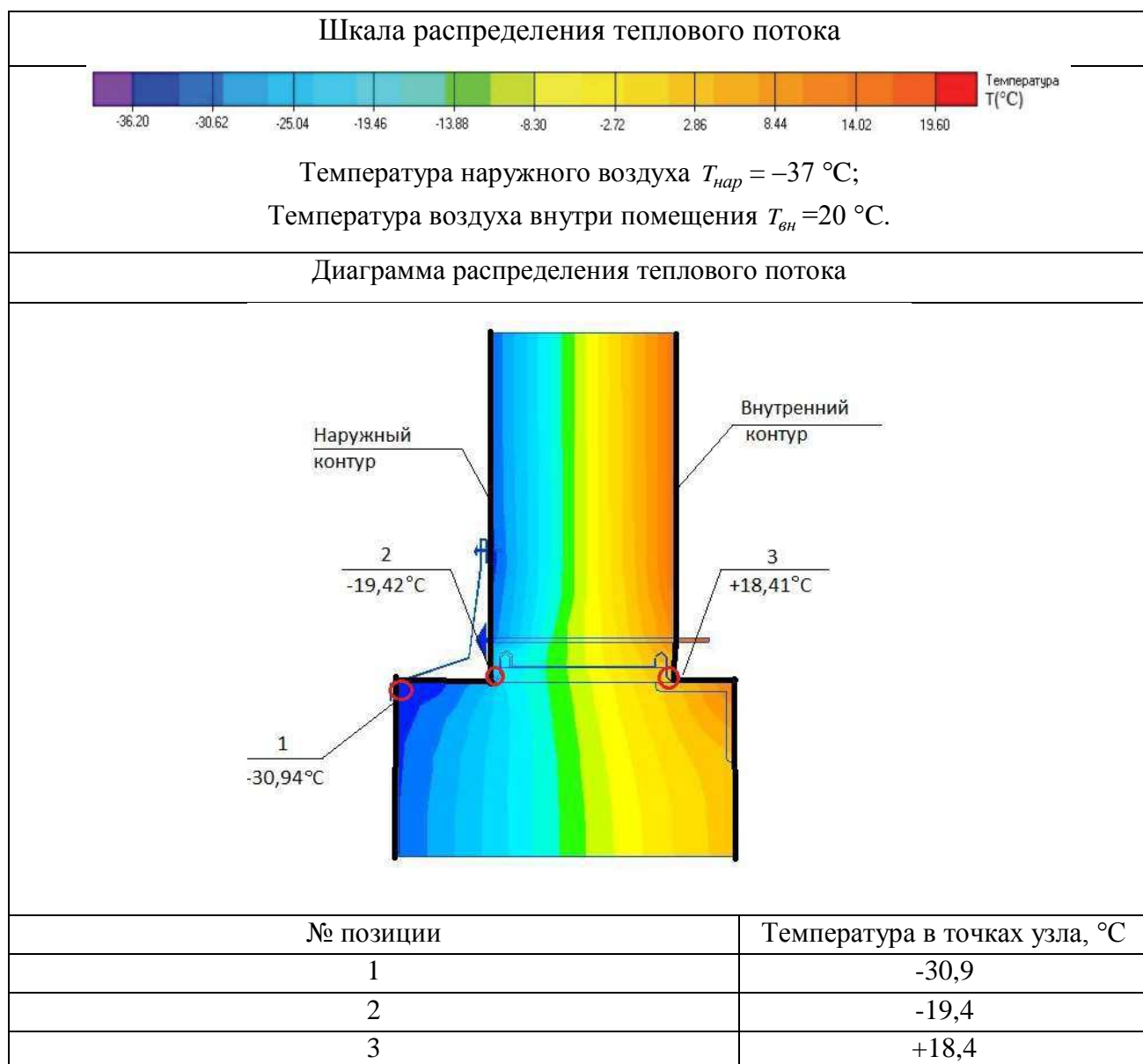


Рисунок 32 - Опирание стеновой сэндвич-панели на цоколь здания

По результатам компьютерного моделирования температурных полей узла конструкции карниза при внутреннем решении водостока, представленные в таблице 16, выявлено, что температура наружного контура в соединении стеновых сэндвич-панелей составляет $-19,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблица 16, точка 2), что достаточно выше от расчетного значения температуры наружного воздуха ($-37,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Из этого следует, что в соединении стеновых сэндвич-панелей образуются теплопотери.

Таблица 16 - Результаты компьютерного моделирования температурных полей узла опирания стеновой сэндвич-панели на цоколь здания



В таблице 11 приведены сводные результаты компьютерного

моделирования температурных полей типовых узлов и сопряжений сэндвич панелей, где:

- 1) Узел 1 – Соединение стеновых сэндвич-панелей между собой по продольным кромкам и крепление их к каркасу здания
- 2) Узел 2 - Угловое соединение стеновых сэндвич-панелей
- 3) Узел 3 – Коньковый узел для кровли с уклоном 10%
- 4) Узел 4 – Конструкция карниза при внутреннем решении водостока
- 5) Узел 5 – Конструкция карниза при наружном решении водостока
- 6) Узел 6 - Опираение стеновой сэндвич-панели на цоколь здания

Таблица 11 – Сводная таблица результатов компьютерного моделирования температурных полей типовых узлов

Модель	Температура поверхности по наружному контуру в соединении сэндвич-панелей ($T_n = -37 \text{ }^\circ\text{C}$)	Температура поверхности по внутреннему контуру в соединении сэндвич-панелей ($T_v = +20 \text{ }^\circ\text{C}$)
Узел 1	-17,2	+18,2
Узел 2	-12,4	+15,1
Узел 3	-17,2	+19,4
Узел 4	-15,7	+18,8
Узел 5	-13,3	+20,4
Узел 6	-19,4	+18,4

Результаты расчета подтверждают, что в узловых соединениях сэндвич-панелей происходят теплопотери. Более детальный анализ узлов выявил, что в местах соединения сэндвич-панелей используется монтажная пена. По результатам расчета в программном комплексе обнаружилось, что изменения температурного потока происходит именно в узловых стыках сэндвич-панелей, следует отметить, что в этих местах используется монтажная пена.

Следует предположить, что причиной этих теплопотерь может являться заполнение узловых соединений монтажной пеной, так как возможно

использование не качественный материал при заполнении стыков, а также в процессе эксплуатации или в процессе строительства возможно проникание влаги или ультрафиолетового света в узловые соединения сэндвич-панелей, тем самым ухудшая качество монтажной пены.

Хотелось бы отметить, что к базовым характеристикам монтажной пены можно отнести:

1) Высокие адгезионные показатели. Вещество образует прочное соединение с основными материалами, применяемые в строительстве, но к промасленным, силиконовым основам, полиэтилену пена пристает намного хуже;

2) При выходе из баллона герметик увеличивается в пятьдесят раз, иногда встречается увеличение в двадцать раз. Заполнение швов занимает пару минут, процесс при этом сопровождается шипением и быстрым заполнением пространства. Одного баллона достаточно для герметизации длинных и глубоких стыков;

3) Вспененный герметик после нанесения на протяжении нескольких часов меняет объем. Более дешевые варианты подвержены усадке, что приводит к образованию щелей;

4) Характеристики материал сохраняет в том случае, когда не подвергается воздействию прямых лучей солнца, химических реагентов и влаги. Если воздействует хотя бы один из перечисленных факторов, пена пересохнет и раскрошится. Срок эксплуатации плохо защищенного материала мал и составляет максимум сорок восемь месяцев.

Из чего можно сделать вывод, что в узловых соединениях ограждающих конструкций из сэндвич-панелей происходят теплопотери за счет применения в узлах монтажной пены.

2.3 Определение зависимости между коэффициентом теплопроводности и температурой поверхности узла соединения сэндвич-панелей в программном комплексе Elcut

Для расчета используется типовое угловое соединение стеновых сэндвич-панелей с использованием в стыке монтажной пены, показанного на рисунке 33. Возьмем показатели коэффициента теплопроводности при испытаниях монтажной пены в работе Лысенко Н.В. [80], где автор работы изучил характеристики структурных изменений, происходящих в материале при воздействии дождя, ветра, солнечной радиации, циклических воздействий температуры и влажности на поверхности материала

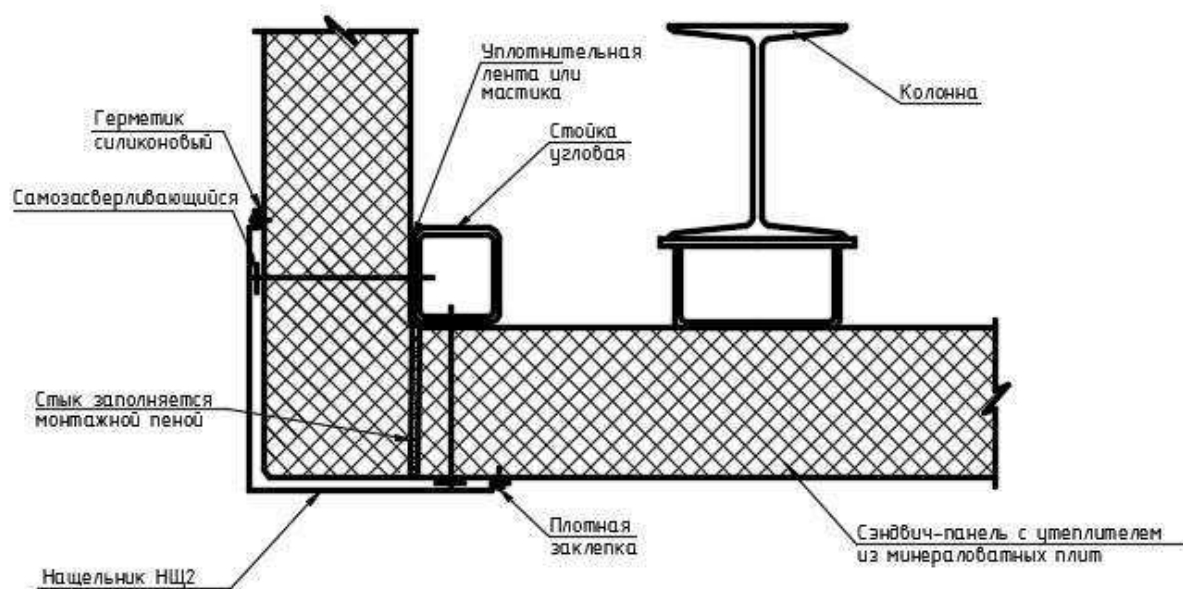


Рисунок 33 – Расчетная схема углового соединения стеновых сэндвич-панелей

Расчетная схема стены представлена на рисунок 34, расчетные теплофизические характеристики материалов наружной стены приведены в таблице 17. В качестве утеплителя выбрана сэндвич-панелей с минераловатным утеплителем. Расчет производился с помощью

программного комплекса Elcut Professional. Расчетные граничные условия для расчета указаны в таблице 18.

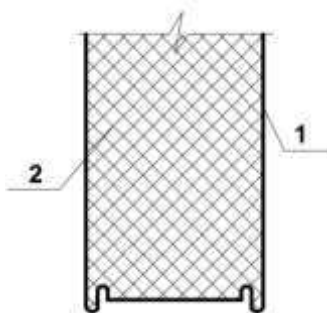


Рисунок 34 - Расчетная схема сэндвич-панели: 1 – оцинкованный лист; 2 – утеплитель

Таблица 17 - Характеристики материалов

№ п/п	Наименование материалов	Плотность $\rho_0, \text{кг/м}^3$	Коэффициент теплопроводности λ $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$
1	Оцинкованный лист с полимерным покрытием	7850	52
2	Минераловатная плита (Rockwool)	105	0,035
3	Монтажная пена	25-35	0,033
4	Герметик	1050	0,35

Таблица 18- Расчетные граничные условия для расчета ограждающей конструкции

№	Параметр	Значение
1	Расчетная температура наружного воздуха $t_n, \text{ }^\circ\text{C}$	-37,0
2	Расчетная температура внутреннего воздуха $t_v, \text{ }^\circ\text{C}$	+20,0
3	Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стены $\alpha_n, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$	23,0
4	Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стены $\alpha_v, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$	8,7

Результаты расчета углового соединения сэндвич-панелей в программном комплексе Elcut представлены в таблице 14, где обнаружена закономерность между коэффициентом теплопроводности монтажной пены и температурой поверхности в стыке стеновых сэндвич-панелей, показанных на рисунках 35, 36.

Таблица 19 – Результаты расчета

№ п/п	Температура наружного воздуха	Коэффициент теплопроводности λ Вт/(м ² ·с)	Температура поверхности по наружному контуру в соединении сэндвич-панелей (Т _н = -37 °С)	Температура поверхности по внутреннему контуру в соединении сэндвич-панелей (Т _в = +20 °С)
1	-37	0,033	-17,2	+18,2
2	-37	0,035	-17,1	+18,2
3	-37	0,038	-16,8	+17,9
4	-37	0,041	-16,4	+17,1

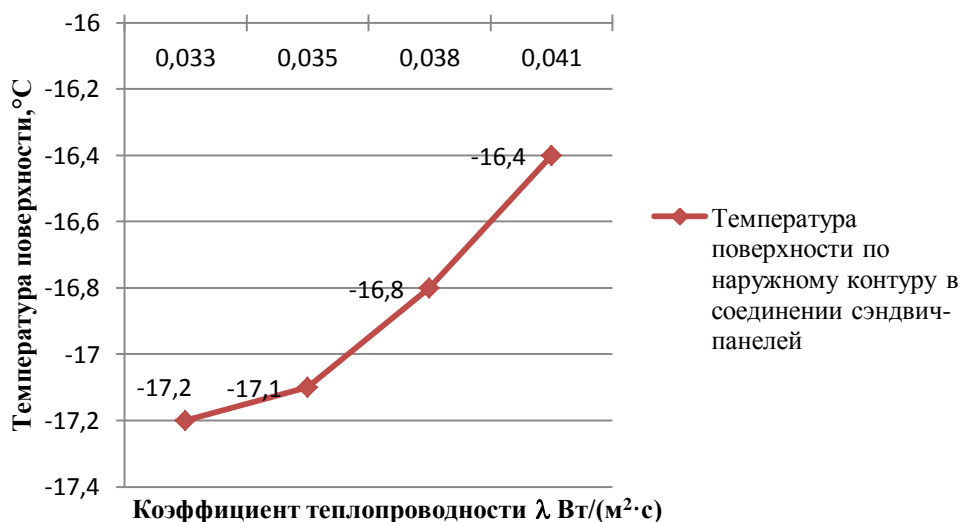


Рисунок 35 – График зависимости коэффициента теплопроводности от температуры наружного контура в стыке сэндвич – панелей



Рисунок 36 – График зависимости коэффициента теплопроводности от температуры внутреннего контура в стыке сэндвич - панелей

Из результата расчета выявлено, что при увеличении коэффициента теплопроводности монтажной пены, за счет структурных изменений характеристик, происходящий в материале при воздействии дождя, ветра, солнечной радиации, циклических воздействий температуры и влажности на поверхности материала, увеличиваются теплопотери в местах сопряжения сэндвич-панелей, тем самым уменьшается срок долговечности узлового сопряжения. Исходя из этого срок эксплуатации здания заявленная проектировщиками предположительно уменьшается в 2-3 раза.

2.4 Расчет с использованием программного комплекса Elcut и анализ температурного потока при утеплении узлов сопряжений и креплений сэндвич-панелей

После расчета узлов сопряжений сэндвич-панелей в п. 2.2 обнаружилось, что причиной теплопотерь в эксплуатируемых зданиях является использование монтажной пены в качестве утеплителя между панелями.

Для того чтобы исключить теплопотери в эксплуатируемых зданиях необходимо обеспечивать герметичность швов, а также создавать плотное соединение за счет использования утеплителя в стыках.

Для подтверждения эффективности утепления и герметичности швов необходимо провести анализ теплового потока в утепленных узлах. При этом необходимо следовать следующим алгоритмом действий в программном комплексе Elcut Professional:

1. Выбрать тип создаваемой модели - теплопередача стационарная.
2. Определить рабочую область и задать геометрию модели.
3. Указать граничные условия модели, представленных в таблице 21.
4. Принять теплофизические свойства и начальные условия, представленных в таблице 20.
5. Задать параметры сетки элементов и ее построение.

6. Определить параметры решающего устройства и запустить расчет.
7. Настроить режим отображения результата расчетов.
8. Провести анализ полученных результатов.

Таблица 20 - Характеристики материалов используемых при расчете

№ п/п	Наименование материалов	Плотность $\rho_0, \text{кг/м}^3$	Коэффициент теплопроводности λ $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$
1	Оцинкованный лист с полимерным покрытием	7850	52
2	Минераловатная плита (Rockwool)	105	0,035
3	Герметик	1050	0,35
4	Мастика	100	0,032

Таблица 21- Расчетные граничные условия для расчета ограждающей конструкции

№	Параметр	Значение
1	Расчетная температура наружного воздуха t_n , °С	-37,0
2	Расчетная температура внутреннего воздуха t_v , °С	+20,0
3	Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стены α_n , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$	23,0
4	Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стены α_v , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$	8,7

На рисунке 37 показано соединение стеновых сэндвич - панелей между собой по продольным кромкам и крепление их к каркасу здания. Стеновые сэндвич-панели монтируются на прогон с помощью самозасверливающихся шурупов. Стык между сэндвич-панелями заполняется утеплителем, к примеру минеральной ватой в полиэтиленовой пленке. С наружной части узлового соединения крепится фасонный элемент ФЭ-С4. Сверху ФЭ-С4 крепится фасонный элемент ФЭ-С1с помощью самозасверливающихся шурупов. В местах соединения фасонного элемента ФЭ-С1 и стеновой сэндвич-панелью необходимо использовать герметик-силиконовым для герметизации швов.

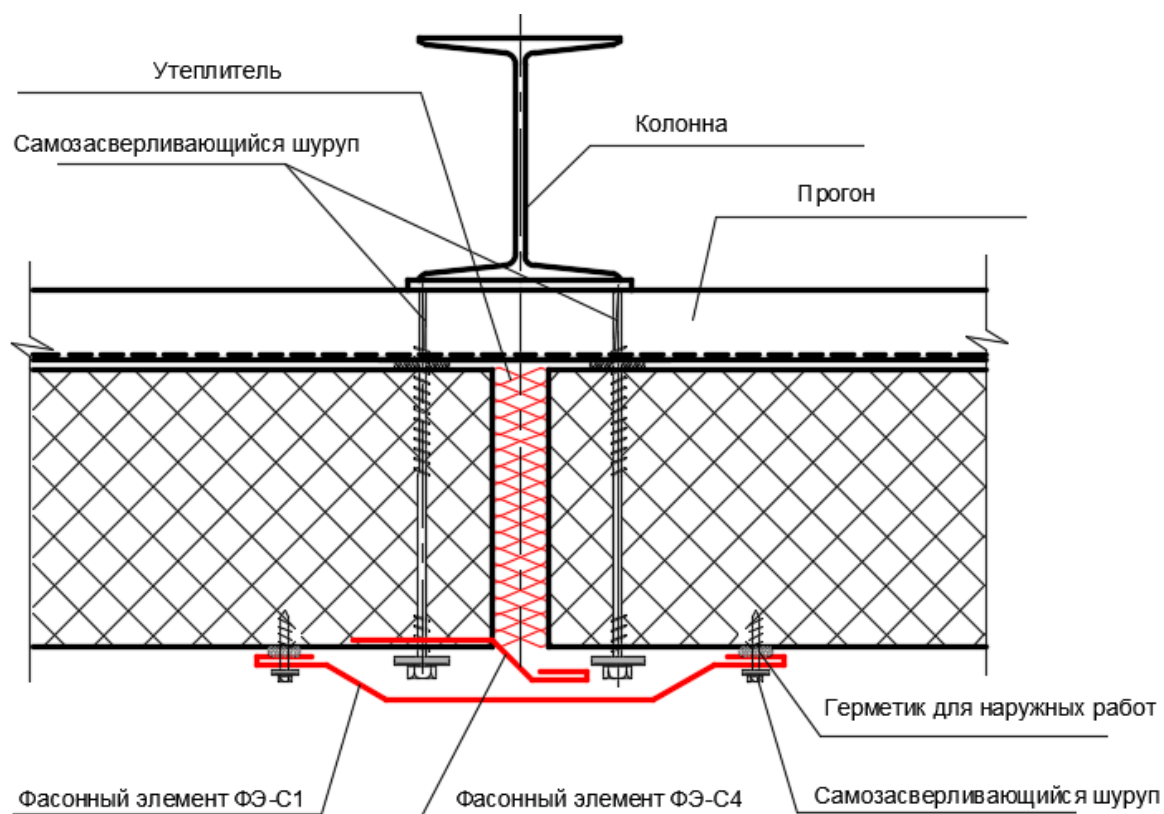
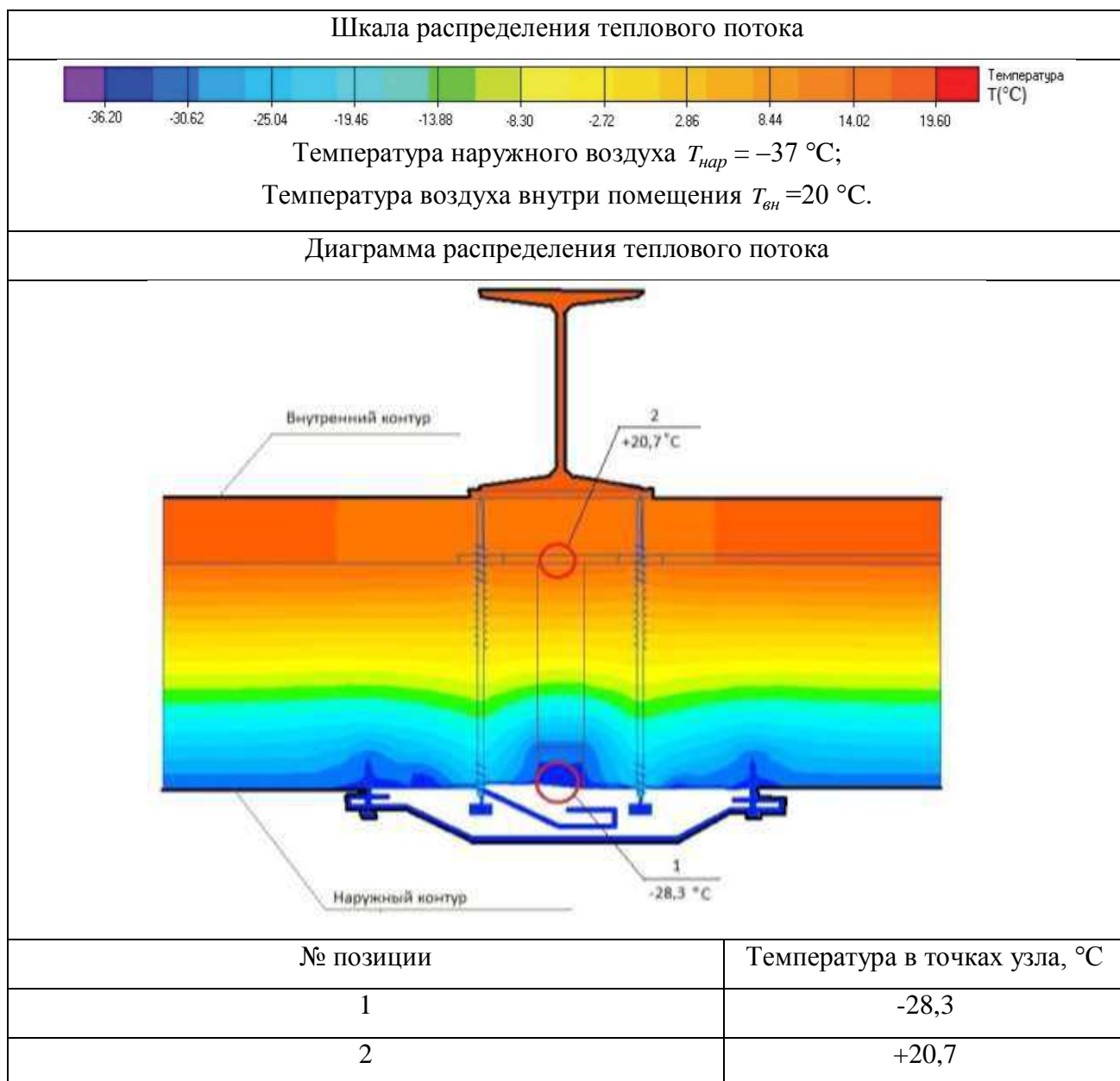


Рисунок 37 - Соединение стеновых сэндвич-панелей между собой по продольным кромкам и крепление их к каркасу здания

По результатам компьютерного моделирования температурных полей соединения стеновых сэндвич-панелей между собой по продольным кромкам и крепление их к каркасу здания, представленных в таблице 22, выявлено, что температура наружного контура в соединении стеновых сэндвич-панелей составляет $-28,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблица 22, точка 1), что достаточно приближено к расчетному значению температуры наружного воздуха ($-37,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Из этого следует, что за счет утепления стыка минеральной ватой в полиэтиленовой пленке теплотери в узле устранены.

Таблица 22 - Результаты компьютерного моделирования температурных полей соединения стеновых сэндвич-панелей между собой по продольным кромкам и крепление их к каркасу здания



На рисунке 38 показано угловое соединение стеновых сэндвич-панелей. Стеновые сэндвич-панели монтируются на угловую стойку с помощью самозасверливающихся шурупов. В стык между сэндвич-панелями ложится утеплитель - минеральная вата, с внутренней части соединения закладывается уплотняющая масса (мастика). С наружной части соединения крепится фасонный элемент ФЭ-У2, с внутренней части крепится фасонный элемент

ФЭ-У3. По краям фасонных элементов для герметизации необходимо наносить герметик-силиконовый.

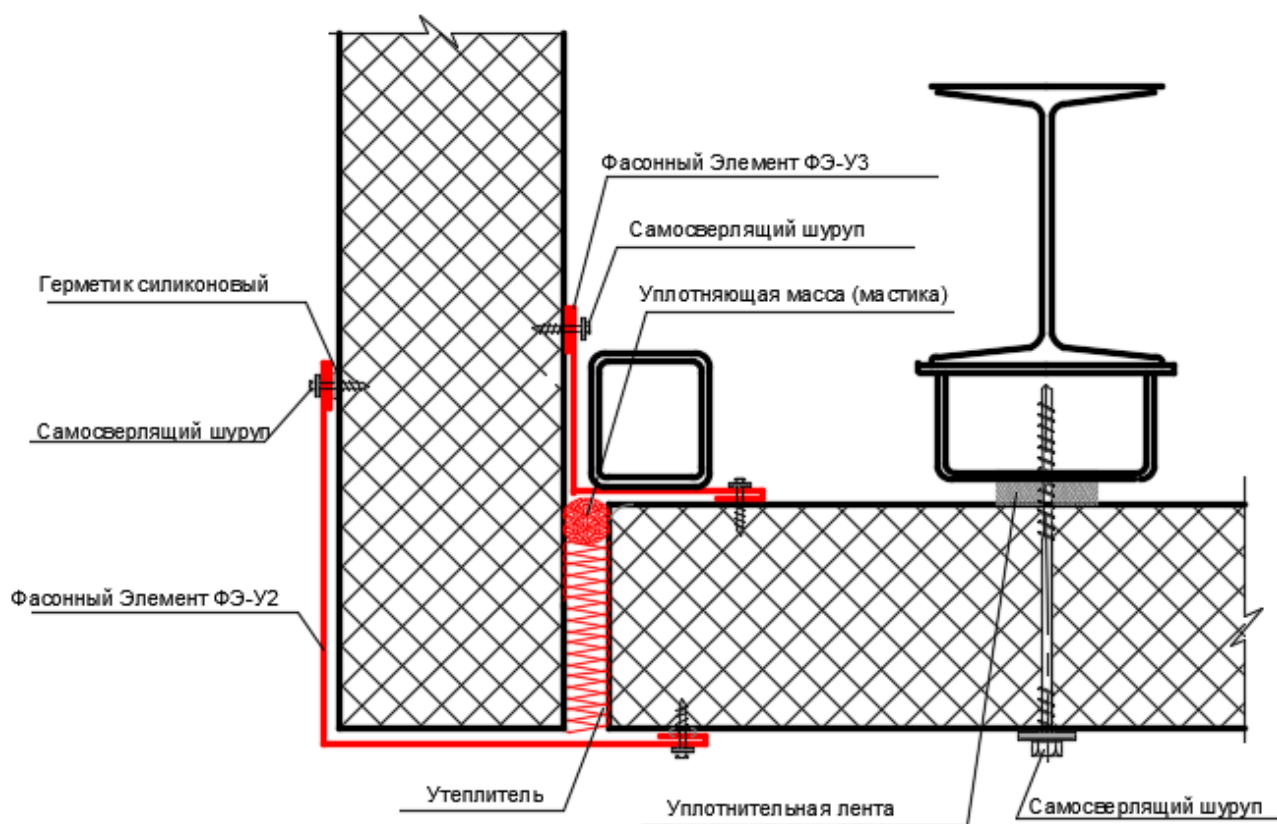
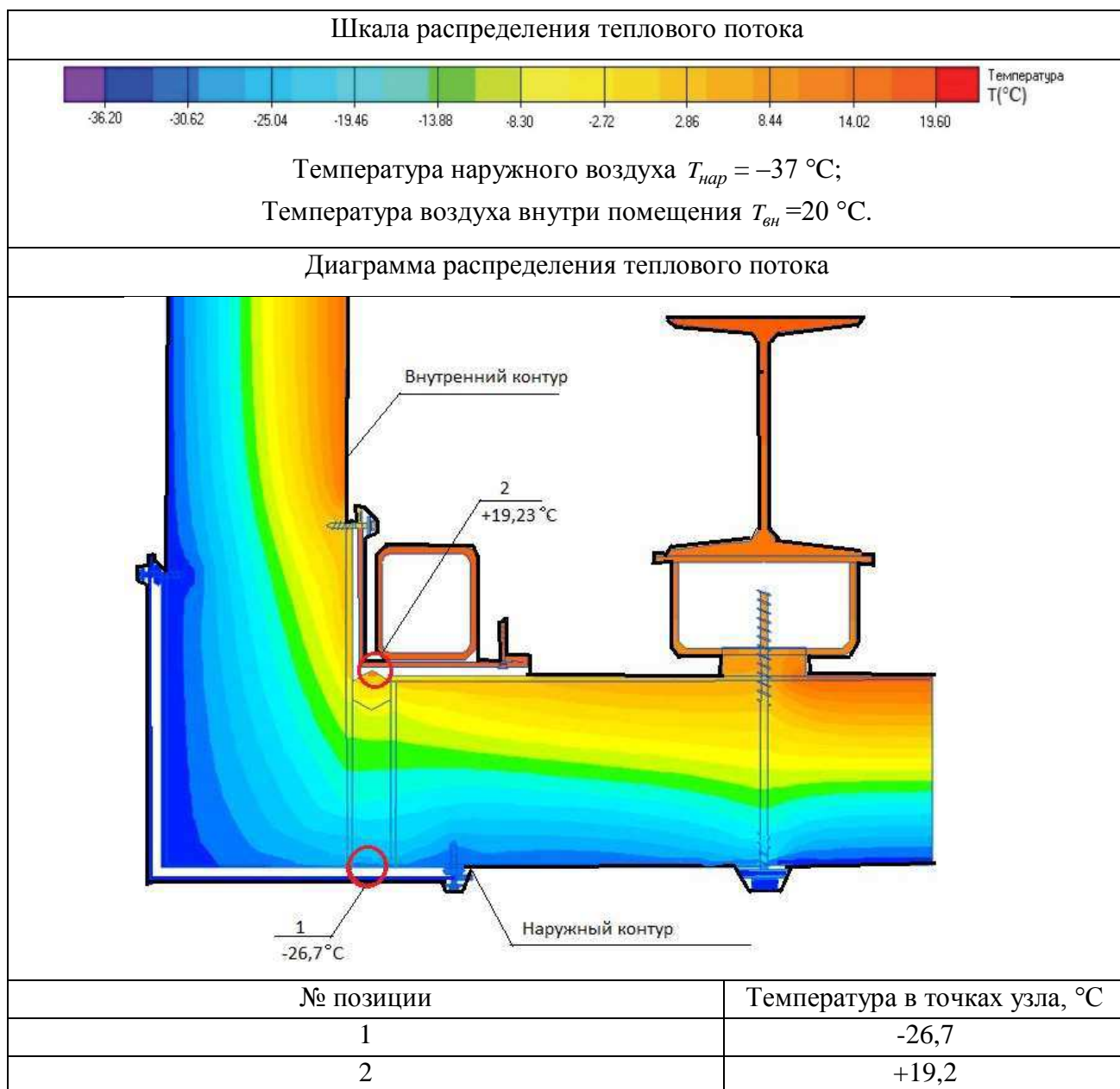


Рисунок 38 – Угловое соединение стеновых сэндвич-панелей

По результатам компьютерного моделирования температурных полей углового соединения стеновых сэндвич-панелей, представленных в таблице 23, выявлено, что температура наружного контура в соединении стеновых сэндвич-панелей составляет $-26,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблица 23, точка 1), что достаточно приближенно к расчетному значению температуры наружного воздуха ($-37,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Из этого следует, что в соединении стеновых сэндвич-панелей теплотери отсутствуют, что подтверждает эффективность утепления и герметизации стыка.

Таблица 23 - Результаты компьютерного моделирования температурных полей углового соединения стеновых сэндвич-панелей



На рисунке 39 показан узел конструкции карниза при внутреннем решении водостока. Стык между стеновой сэндвич-панелью и кровельной сэндвич-панелью заполняется утеплителем. С внутренней части стыка заполняется уплотняющей массой (мастикой). С внутренней части соединений крепится фасонный элемент ФЭ-К1, с наружной части соединения крепится фасонный элемент ФЭ-К5. Фасонные элементы крепятся к сэндвич-панелям с помощью самозасверливающимся шурупом.

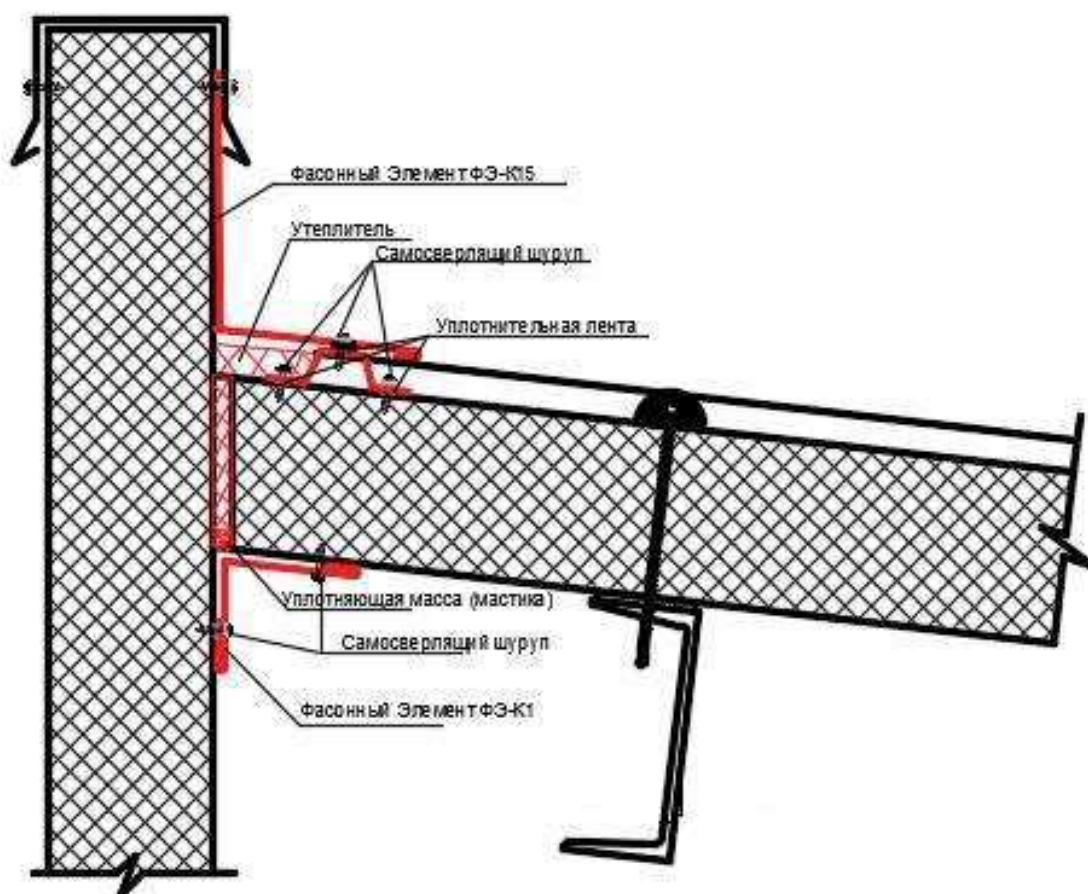
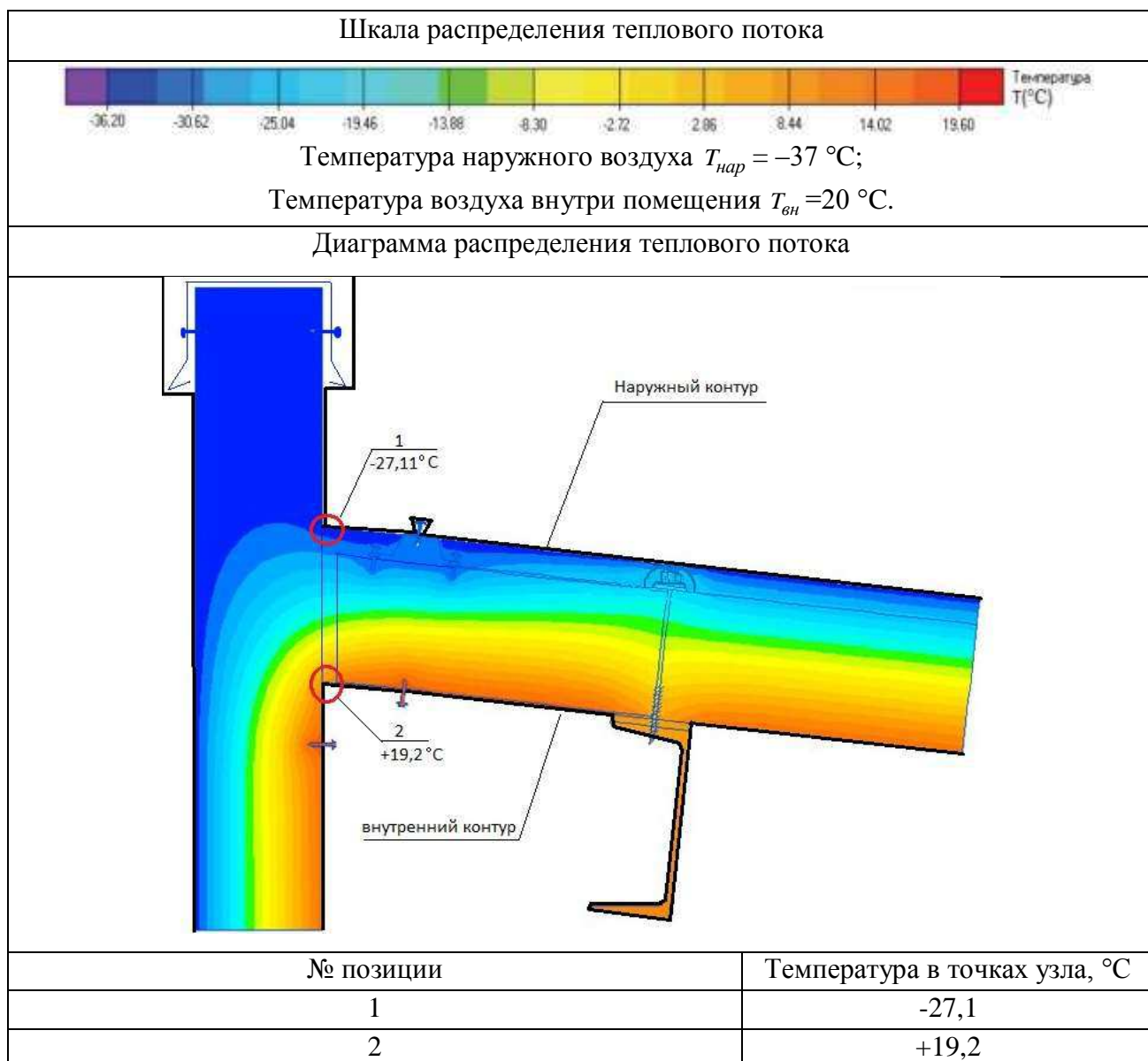


Рисунок 39 - Конструкция карниза при внутреннем решении водостока

По результатам компьютерного моделирования температурных полей конструкции карниза при внутреннем решении водостока, представленных в таблице 24, выявлено, что температура наружного контура в соединении сэндвич-панелей составляет $-27,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблица 24, точка 1), что достаточно ближе к расчетному значению температуры наружного воздуха ($-37,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Из этого следует, что в конструкции карниза теплопотери отсутствуют, что подтверждает эффективность утепления и герметизации стыка.

Таблица 24 - Результаты компьютерного моделирования температурных полей конструкции карниза при внутреннем решении водостока



На рисунке 40 показан коньковый узел для кровли с уклоном 10%. Стык между кровельными сэндвич-панелями заполняется утеплителем или водонепроницаемой полиуретановой прокладкой, также с внутренней части соединения необходимо вставить уплотняющую массу (к примеру мастика). С внутренней части узлового соединения крепится фасонный элемент ФЭ-К19, с наружной части крепится фасонный элемент ФЭ-К18. Фасонные элементы крепятся с помощью самозасверливающихся шурупов с использованием

герметика для наружного применения. в местах крепления кровельной сэндвич-панели к прогону необходимо положить уплотнительную ленту.

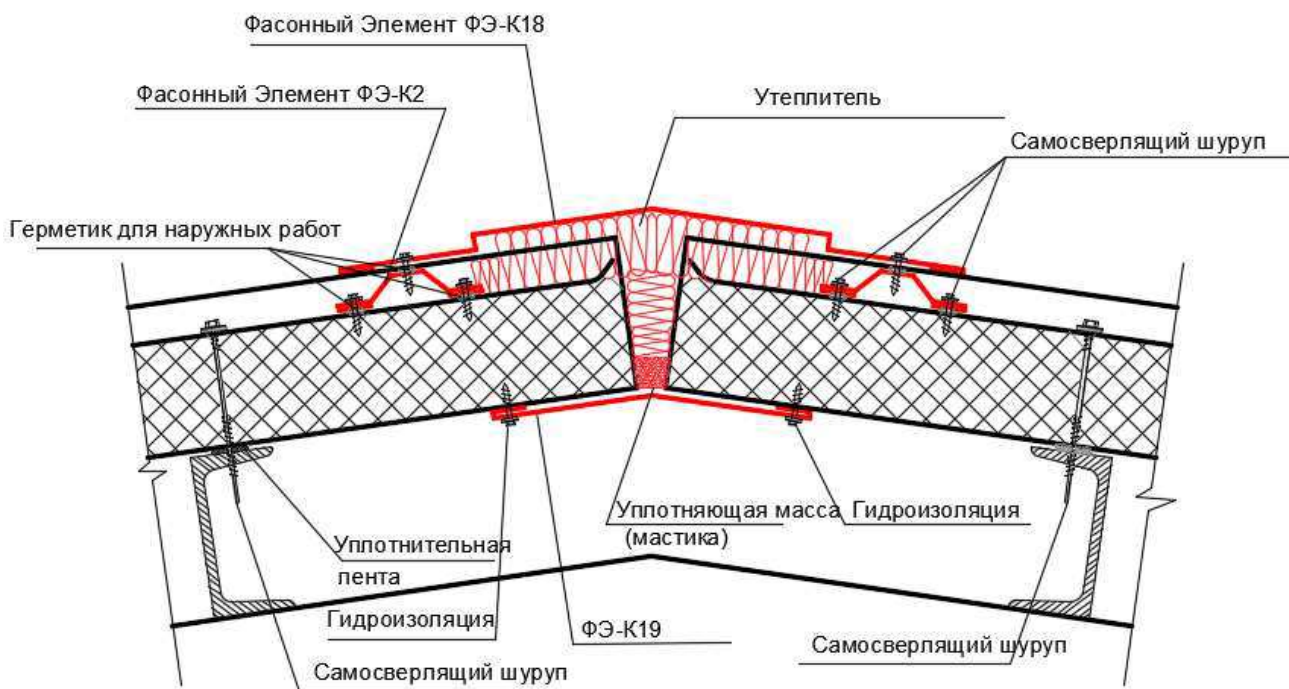
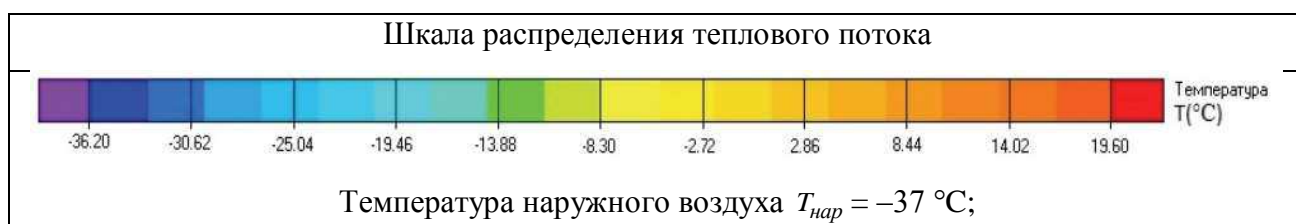
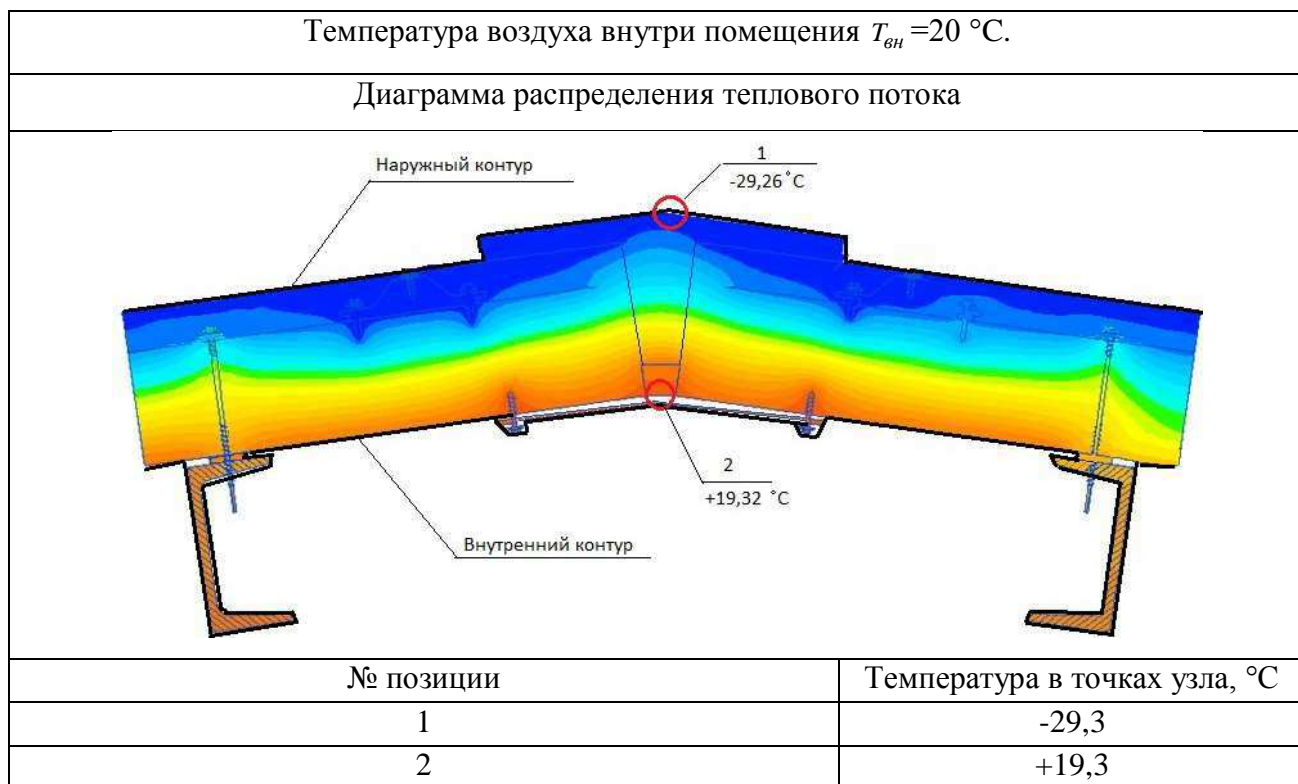


Рисунок 40 – Коньковый узел для кровли с уклоном 10%

По результатам компьютерного моделирования температурных полей конькового узла для кровли с уклоном 10%, представленных в таблице 25, выявлено, что температура наружного контура в соединении кровельных сэндвич-панелей составляет $-29,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблица 25, точка 1), что достаточно ближе к расчетному значению температуры наружного воздуха ($-37,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Из этого следует, что в конструкции конькового узла теплотери отсутствуют, что подтверждает эффективность утепления и герметизации стыка.

Таблица 25 - Результаты компьютерного моделирования температурных полей конькового узла для кровли с уклоном 10%





На рисунке 41 показан узел конструкции карниза при наружном решении водостока. Между стеновой сэндвич-панелью и кровельной панелью до утепления использовалась монтажная пена, после доработки узла между стеновой сэндвич-панелью и кровельной панелью используется утеплитель и уплотняющая масса. С наружной части соединения ложится уплотняющая масса (мастика). С внутренней и наружной части соединения крепятся фасонные элементы ФЭ-К1. Фасонные элементы крепятся с помощью самозасверливающихся шурупов с использованием герметика для наружного применения, в местах крепления кровельной сэндвич-панели к прогону необходимо положить уплотнительную ленту для исключения деформации от нагрузки.



Рисунок 41 - Конструкция карниза при наружном решении водостока

По результатам компьютерного моделирования температурных полей конструкции карниза при наружном решении водостока, представленных в таблице 26, выявлено, что температура наружного контура в соединении сэндвич-панелей составляет $-28,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблица 26, точка 1), что достаточно ближе к расчетному значению температуры наружного воздуха ($-37,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Из этого следует, что в конструкции конькового узла теплопотери отсутствуют, что подтверждает эффективность утепления и герметизации стыка.

Таблица 26 - Результаты компьютерного моделирования температурных полей конструкции карниза при наружном решении водостока

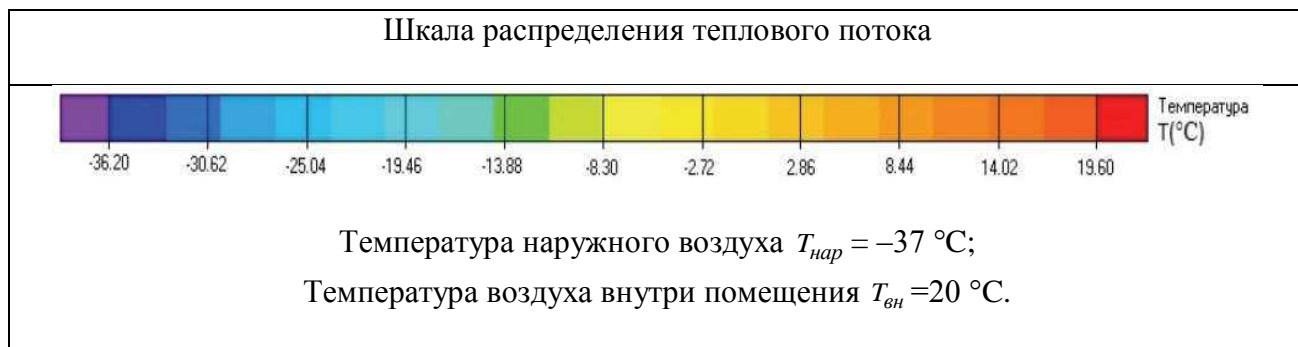
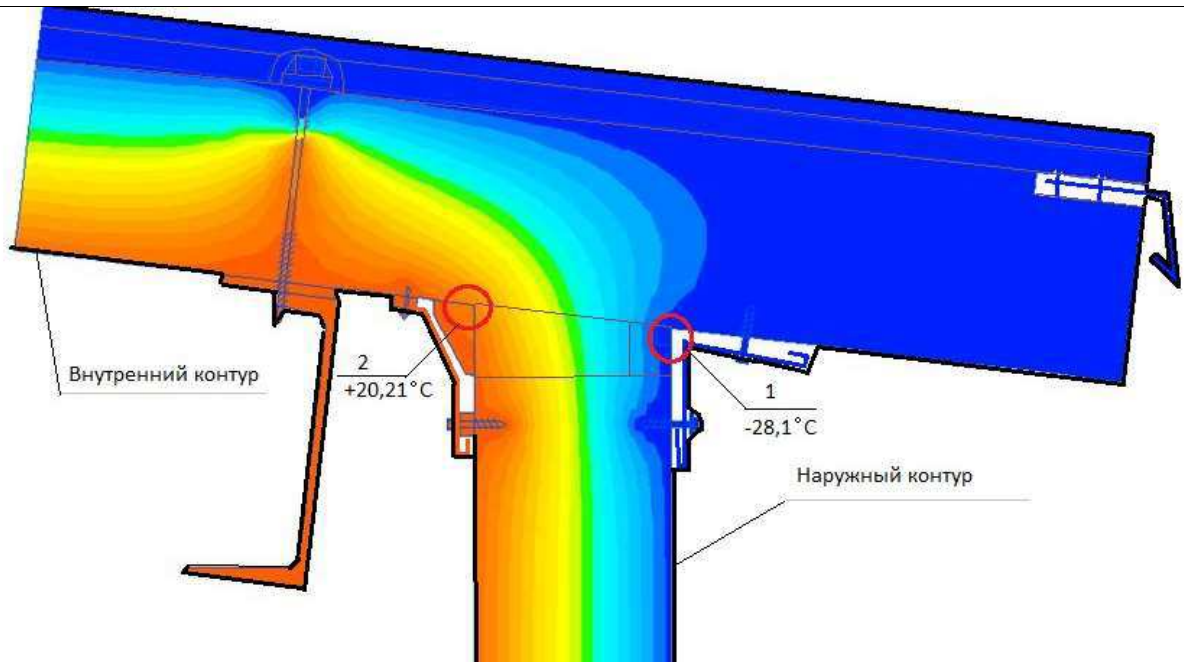


Диаграмма распределения теплового потока



№ позиции	Температура в точках узла, °С
1	-28,1
2	+20,2

На рисунке 42 показан узел опирания стеновой сэндвич-панели на цоколь здания. Между стеновой сэндвич-панелью и цокольной частью фундамента до утепления использовалась монтажная пена, после доработки узла между стеновой сэндвич-панелью и цокольной частью фундамента используется фасонный Элемент ФЭ-Ц2 и водонепроницаемая полиуретановая прокладка, тем самым данные элементы не дают теплоту воздуху выходить наружу. Фасонный элемент ФЭ-Ц2 крепится к цоколю здания на дюбель. Стык между стеновой сэндвич-панелью и цоколем здания заполняется утеплителем. С внутренней части стыка заполняется уплотняющей массой (мастикой).

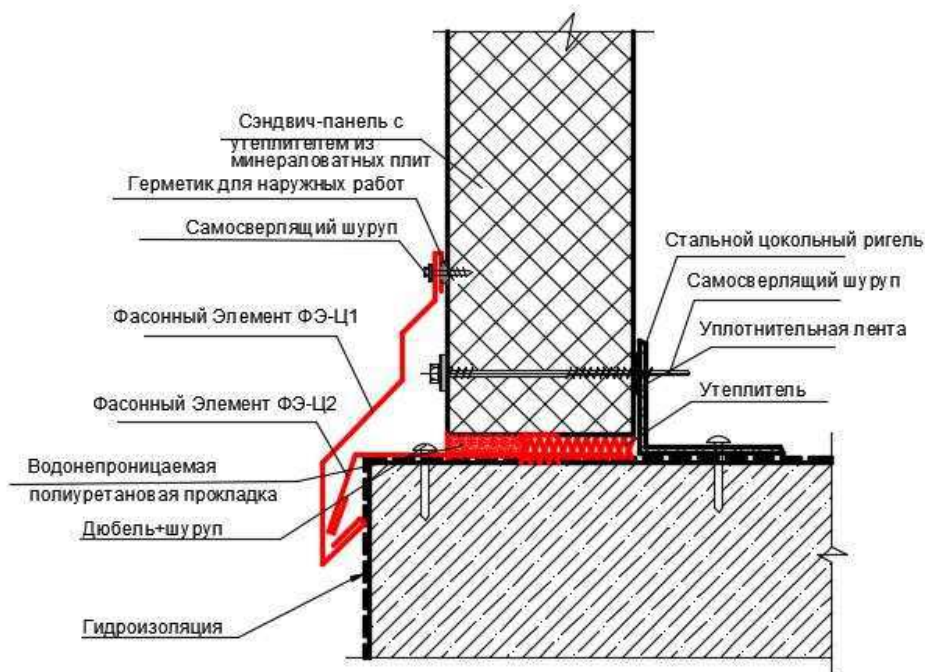


Рисунок 42 - Узел опирания стеновой сэндвич-панели на цоколь здания

По результатам компьютерного моделирования температурных полей узла опирания стеновой сэндвич-панели на цоколь здания, представленных в таблице 27, выявлено, что температура наружного контура в соединении стеновых сэндвич-панелей составляет $-28,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблица 27, точка 1), что достаточно приближено к расчетному значению температуры наружного воздуха ($-37,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Из этого следует, что в конструкции конькового узла теплотери отсутствуют, что подтверждает эффективность утепления и герметизации стыка.

Таблица 27 - Результаты компьютерного моделирования температурных полей узла опирания стеновой сэндвич-панели на цоколь здания

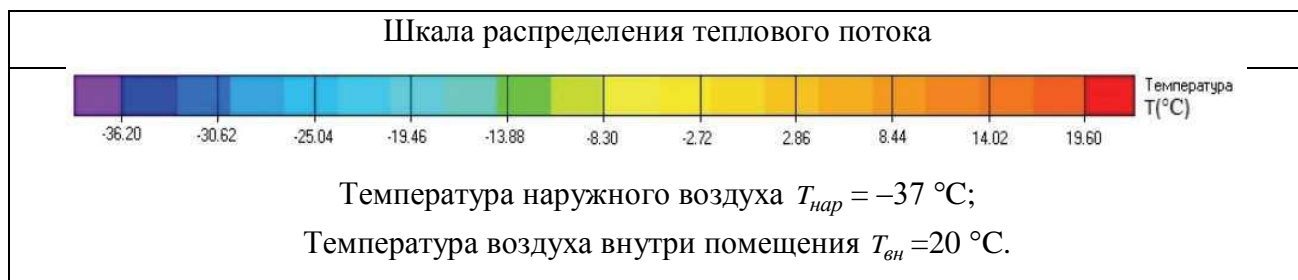
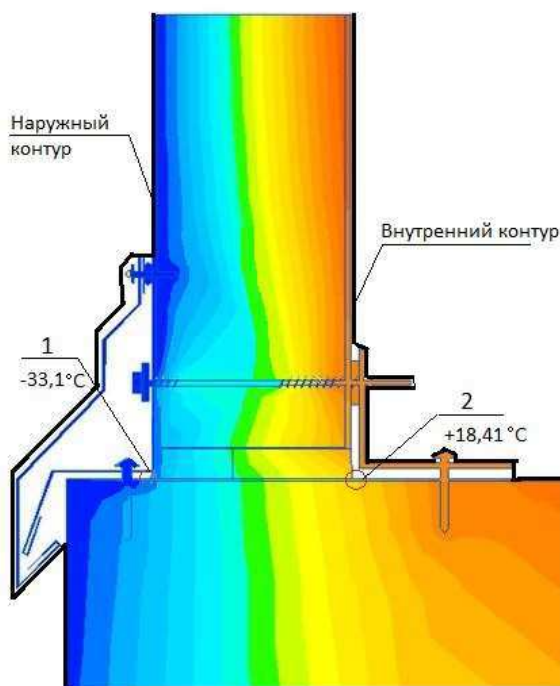


Диаграмма распределения теплового потока



№ позиции	Температура в точках узла, °С
1	-28,1
2	+20,2

2.5 Сравнение результатов численных исследований

В таблицах 17, 18 представлены результаты расчета в программном комплексе Elcut.

Таблица 28- Результаты температур поверхностей типовых узлов

Модель	Температура поверхности по наружному контуру в соединении сэндвич-панелей ($T_n = -37$ °С)	Температура поверхности по внутреннему контуру в соединении сэндвич-панелей ($T_v = +20$ °С)
Узел 1	-17,2	+18,2
Узел 2	-12,4	+15,1
Узел 3	-17,2	+19,4
Узел 4	-15,7	+18,8
Узел 5	-13,3	+20,4
Узел 6	-19,4	+18,4

Таблица 29 - Результаты температур поверхностей узлов после утепления

Модель	Температура поверхности по наружному контуру в соединении сэндвич-панелей ($T_n = -37 \text{ }^\circ\text{C}$)	Температура поверхности по внутреннему контуру в соединении сэндвич-панелей ($T_b = +20 \text{ }^\circ\text{C}$)
Узел 1	-28,3	+20,7
Узел 2	-26,7	+19,2
Узел 3	-27,1	+19,2
Узел 4	-29,3	+19,3
Узел 5	-28,1	+20,2
Узел 6	-33,1	+18,4

На рисунке 43 видно, что значение температур поверхности наружного контура в соединении сэндвич-панелей после утепления значительно понизилось, по сравнению с расчетной температурой наружного контура ($T_n = -37 \text{ }^\circ\text{C}$).

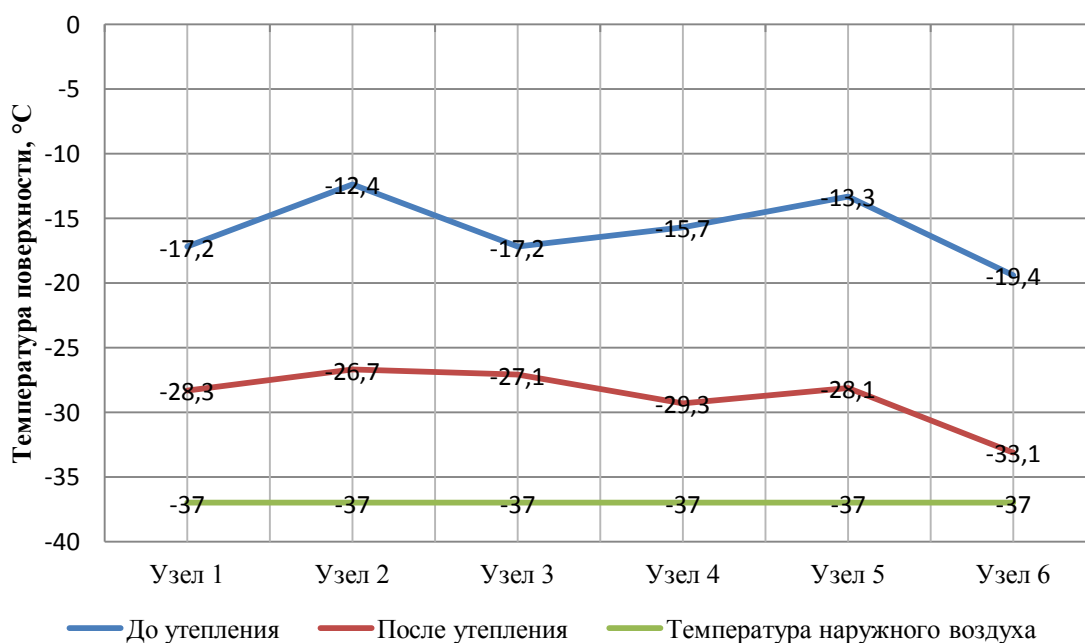


Рисунок 43 – График температур поверхностей по наружному контуру в соединениях сэндвич-панелей ($T_n = -37 \text{ }^\circ\text{C}$)

Также на рисунке 44 видно, что значение температур поверхности внутреннего контура в соединении сэндвич-панелей после утепления увеличилось, по сравнению с расчетной температурой внутреннего контура ($T_b = +20 \text{ }^\circ\text{C}$)

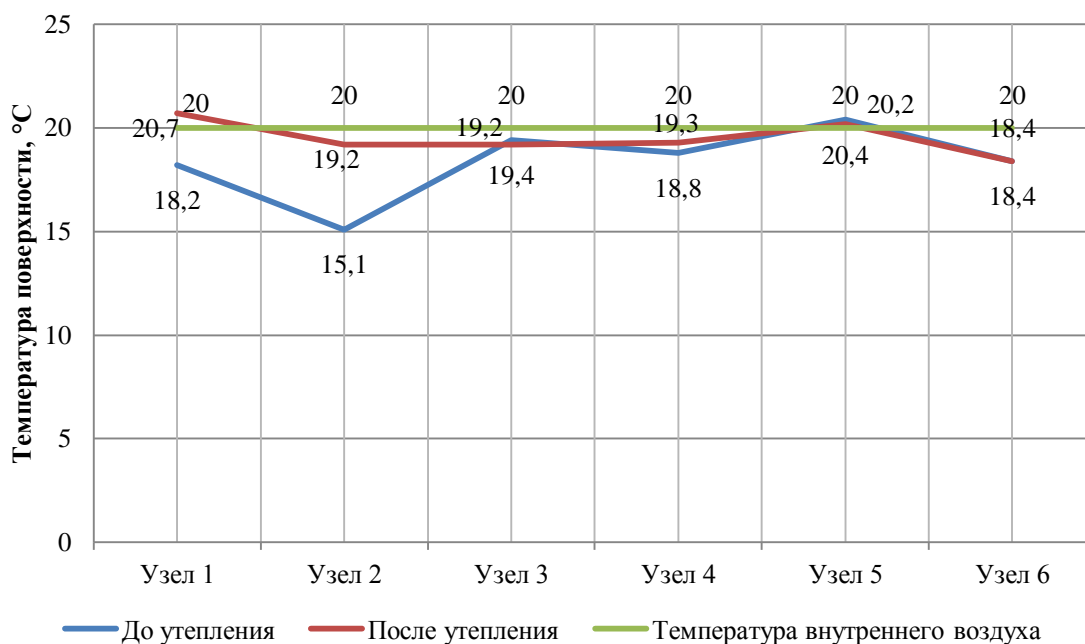


Рисунок 44 – График температур поверхности по внутреннему контуру в соединениях сэндвич-панелей ($T_{в} = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Из результата расчета выявлено, что наиболее эффективно использовать в сопряжениях сэндвич-панелей утеплитель с водонепроницаемой полиуретановой прокладкой, а также все элементы крепления промазывать герметиком - силиконовым для полной герметизации швов.

2.6 Выводы по результатам исследования

Анализ полученных результатов экспериментально-теоретического исследования узловых сопряжений сэндвич-панелей позволяют сделать ряд выводов.

1 Результаты обследования фасадной части эксплуатируемых объектов показали, что в соединениях ограждающих конструкций из сэндвич-панелей температура поверхности панелей выше на 3-4 градуса, чем основная часть фасада.

2 При расчете в программном комплексе Elcut Professional выявлено, что величина наружной ограждающей конструкции в узловых соединениях

сэндвич-панелей в среднем равна $-18.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура наружного воздуха принятая в расчета -37°C , что следует о том, что в узлах происходят теплопотери.

3 При детальном анализе узлов выявлено, что в местах соединения сэндвич-панелей используется монтажная пена. По результатам расчета в программном комплексе обнаружилось, что изменения температурного потока происходят именно в узловых стыках сэндвич-панелей, следует отметить, что в этих местах используется монтажная пена.

4 При расчете на определение зависимости между коэффициентов теплопроводности монтажной пены и температурой поверхности узловых соединений сэндвич-панелей в программном комплексе Elcut, выявлено, что при увеличении коэффициента теплопроводности монтажной пены, за счет структурных изменений характеристик, происходящий в материале увеличиваются теплопотери в местах сопряжения сэндвич-панелей, тем самым уменьшается срок долговечности узлового сопряжения. Исходя из этого срок эксплуатации здания заявленная проектировщиками предположительно уменьшается в 2-3 раза

5 Выявлено, что после утепления узлов соединений сэндвич-панелей минеральной ватой и уплотняющей массой в качестве герметизации стыков, температура наружного и внутреннего контура приблизилась к нормативной температуре, что свидетельствует об отсутствие теплопотерь.

Глава 3 Пути решения устранения дефектов и повреждений сэндвич-панелей в эксплуатируемых зданиях

3.1. Практические рекомендации по устранению дефектов в узлах сопряжений и креплений сэндвич-панелей

Как отмечено во второй главе, узлы соединений стеновых панелей между собой; узлы конструкции кровли; опирание стеновой сэндвич-панели на цоколь здания необходимо утеплять, так как в местах соединений сэндвич-панелях используется монтажная пена, за счет чего появляются теплопотери в здании.

В работе [73] Корнилов Т.А. отмечает, что одна из негативных особенностей каркасных зданий с ограждающими конструкциями из сэндвич-панелей – это наличие многочисленных мостиков холода в местах соединения конструкций. Автор работы описывает, что наружная оболочка здания должна быть воздухонепроницаемой, что является основным принципом проектирования энергоэффективных и пассивных здания. Также в каркасных зданиях с теплоизоляцией из минерватных и стекловолоконистых плит в условиях повышенной инфильтрации большое значение имеет герметичность наружной оболочки здания. С учетом этих признаков, автор рекомендует обеспечивать герметичность швов ветрогидрозащитной и пароизоляционной мембраной, а так же создавать плотное соединение воздухонепроницаемых поверхностей различных строительных конструкций между собой. Особое внимание при возведении стеновых ограждающих конструкций следует уделять проклейке мембраны возле притворов окон и дверей, а также в местах замкового соединения сэндвич-панелей.

Повышение теплозащитных качеств стеновых ограждающих конструкций заключается в увеличении их сопротивления теплопередачи до нормативных значений, действующих в настоящее время. Это достигается утеплением стен теплоизоляционными материалами, которые должны

защищаться от наружных воздействий защитно-декоративным слоем, способным при необходимости сохранить или улучшить архитектурно-художественный облик здания или помещения. Также следует отметить, что при увеличении количества крепежных элементов в узлах, также увеличивается прочность узловых соединений.

Из расчетов в пп 2.4 было доказано, что гораздо выгоднее использовать в стыках сэндвич-панелей утеплитель из минеральной ваты и уплотнительную массу в качестве герметизации стыка, что существенно сокращает теплопотери из помещений в окружающую среду.

Для устранения в процессе строительства или эксплуатации смятия сэндвич – панелей на опорах, отслоения утеплителя от стального листа панели, необходимо использовать определенные крепежные элементы, такие как болты, монтажные дюбели, заклепки и одновременно обеспечивать герметичность швов .

Применение болтов в области соединений сэндвич-панелей не получило широкого применения вследствие небольшой технологичности таких соединений по сравнению с винтовыми и заклепочными, вследствие следующих причин:

- о необходимости точного выполнения отверстий на заводе;
- о применения болтов малых диаметров, ввиду малой толщины соединяемых деталей и отсутствия на рынке механизированного инструмента для их монтажа;
- о необходимости обеспечения двустороннего доступа к конструкции в процессе монтажа.

Применение монтажных дюбелей для пороховых и пневматических монтажных пистолетов, при соединении элементов отличается высокая скорость монтажа, особенно при использовании ленточной подачи патронов и дюбелей, однако при этом необходима высокая квалификация монтажника и соблюдение специальных мер техники безопасности. Также необходимо

отметить, что стоимость монтажного дюбеля и патрона выше стоимости винтов и вытяжных заклепок. Существенным недостатком применения монтажных дюбелей, является невозможность обеспечения прочного соединения тонколистового материала с базовым листом толщиной менее 2 мм.

Применение заклепок обусловлено рядом преимуществ по сравнению с другими типами соединений. При применении заклепок получается более плотное, герметичное соединение, соответственно повышается несущая способность на сдвиг; значительно меньшая стоимость; большое разнообразие применяемого инструмента для установки заклепок: ручной, пневматический, аккумуляторный; простота установки, доступ к соединяемым элементам требуется только с одной стороны.

Применение пресс соединений и соединений типа «Розетт», при которых соединение образуется посредством продавливания с последующей развальцовкой стального листа соединяемых деталей, целесообразно в условиях соединения элементов каркаса на заводе по производству готовых комплектов металлоконструкций, с последующей укрупнительной сборкой на строительной площадке с помощью других типов соединений. Подобные типы соединений отличает невысокая стоимость, однако выполнение этих соединений в условиях стройплощадки и на высоте невозможно.

Соединение сэндвич-панелей на вытяжные заклепки и самосверлящие самонарезающиеся винты получили наибольшее распространение. Соединения отличаются высокой технологичностью, возможностью применения мобильного, в том числе аккумуляторного инструмента, небольшая энергозатратность, независимость от климатических условий, отсутствие в необходимости высокой квалификации монтажников, односторонность применения крепежа (возможность вести монтаж с одной стороны) а также небольшая стоимость соединения.

На рисунке 45 представлен вид соединения типа «Розетт» сэндвич-панелей на самонарезающиеся винты с герметизацией стыка.

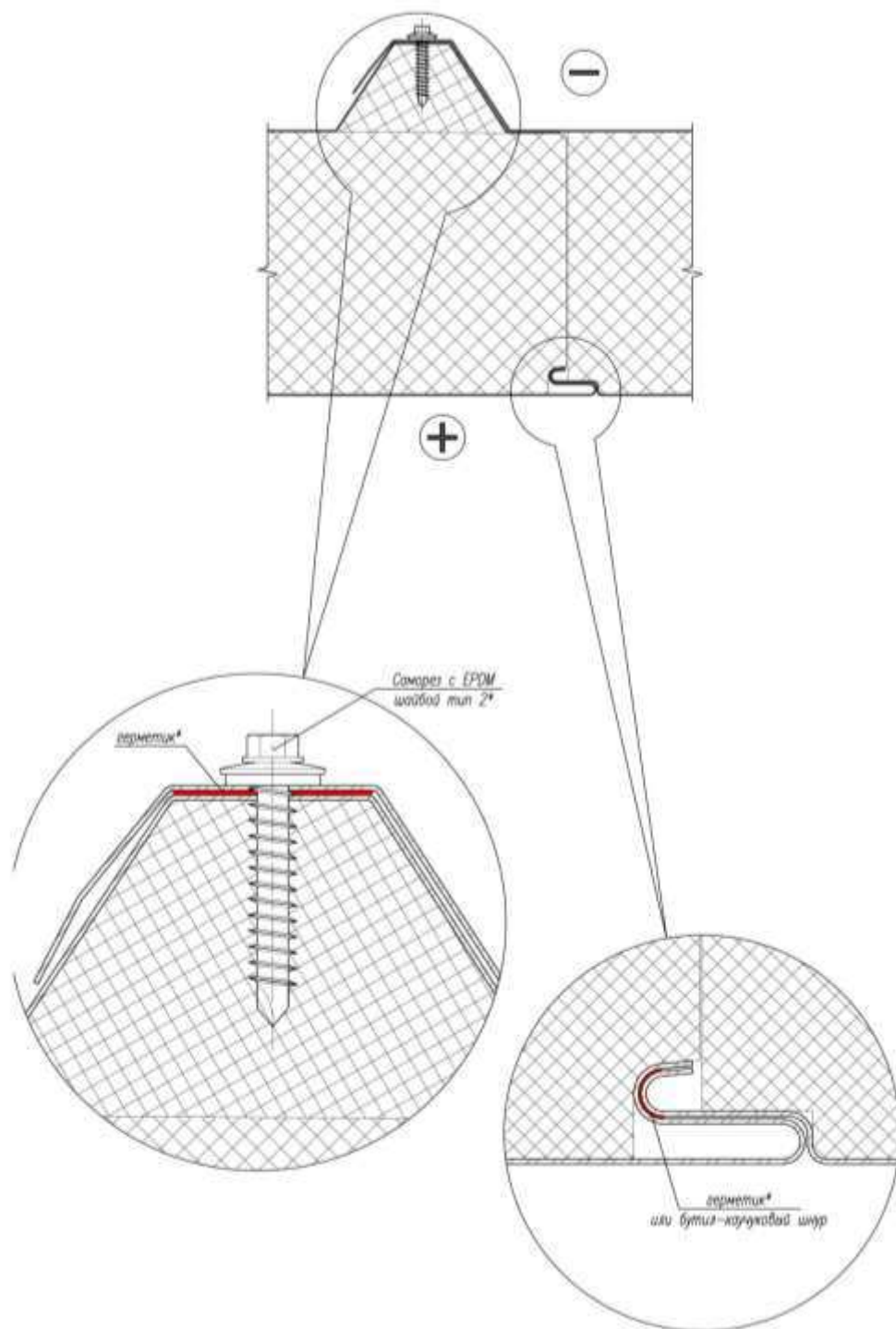


Рисунок 45 - Соединение типа «Розетт» сэндвич-панелей на самонарезающиеся винты с герметизацией стыка

Из вышперечисленного следует, что наиболее эффективно использовать заклепочное соединение сэндвич-панелей, так как за счет такого

соединения отверстия будут герметичные, а соединения сэндвич-панелей более плотное, вследствие этого влага не будет попадать в утеплитель, тем самым уменьшая вероятность выпучивания или расслоения утеплителя в сэндвич-панелях. Также за счет пневматической установки заклепочного соединения возможно избежать перетягивание или недотягивание креплений, тем самым можно увеличить несущую способность сэндвич-панели.

Еще не мало важная проблема - это контроль качества изготовления и монтажа сэндвич-панелей, так как основными причинами дефектов сэндвич-панелей является использование некачественного материала, не правильное складирование панелей и нарушение процесса строительства здания.

Контроль и оценку качества работ при монтаже панелей выполняют в соответствии с требованиями нормативных документов:

- СП 48.13330.2011 Организация строительства, актуализированная редакция СНиП 12-01-2004.

- СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87.

- ГОСТ 26433.2-94 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений параметров зданий и сооружений.

С целью обеспечения необходимого качества монтажа сэндвич-панелей монтажно-сборочные работы должны подвергаться контролю на всех стадиях их выполнения. Производственный контроль подразделяется на входной, операционный (технологический), инспекционный и приемочный. Контроль качества выполняемых работ должен осуществляться специалистами и специальными службами, оснащенными техническими средствами, обеспечивающими необходимую достоверность и полноту контроля, и возлагается на руководителя производственного подразделения (прораба, мастера), выполняющего монтажные работы.

Панели, поступающие на объект, должны отвечать требованиям соответствующих стандартов, технических условий на их изготовление и рабочих чертежей.

До проведения монтажных работ сэндвич-панели, соединительные детали, арматура и средства крепления, поступившие на объект, должны быть подвергнуты входному контролю. Количество изделий и материалов, подлежащих входному контролю, должно соответствовать нормам, приведенным в технических условиях и стандартах.

Входной контроль проводится с целью выявления отклонений от этих требований. Входной контроль поступающих панелей осуществляется внешним осмотром и путем проверки их основных геометрических размеров, наличия закладных деталей, отсутствия повреждений лицевой поверхности панелей. Необходимо также удостовериться, что небетонируемые стальные закладные детали имеют защитное антикоррозийное покрытие. Закладные детали, монтажные петли и строповочные отверстия должны быть очищены от бетона. Каждое изделие должно иметь маркировку, выполненную несмываемой краской.

Сэндвич-панели, соединительные детали, а также средства крепления, поступившие на объект, должны иметь сопроводительный документ (паспорт), в котором указываются наименование конструкции, ее марка, масса, дата изготовления. Паспорт является документом, подтверждающим соответствие конструкций рабочим чертежам. Результаты входного контроля оформляются Актом и заносятся в Журнал учета входного контроля материалов и конструкций.

В процессе монтажа необходимо проводить операционный контроль качества работ. Это позволит своевременно выявить дефекты и принять меры по их устранению и предупреждению. Контроль проводится под руководством мастера, прораба в соответствии со Схемой операционного контроля качества. Не допускается применение не предусмотренных проектом подкладок для

выравнивания монтируемых элементов по отметкам без согласования с проектной организацией.

При операционном (технологическом) контроле надлежит проверять соответствие выполнения основных производственных операций по монтажу требованиям, установленным строительными нормами и правилами, рабочим проектом и нормативными документами. Результаты операционного контроля должны быть зарегистрированы в Журнале работ по монтажу строительных конструкций.

По окончанию монтажа сэндвич-панелей производится приемочный контроль выполненных работ, при котором проверяющим предоставляется следующая документация:

- журнал работ по монтажу строительных конструкций;
- акты освидетельствования скрытых работ;
- акты промежуточной приемки смонтированных панелей;
- исполнительные схемы инструментальной проверки смонтированных сэндвич-панелей;
- документы о контроле качества сварных соединений;
- паспорта на сэндвич-панели.

При инспекционном контроле надлежит проверять качество монтажных работ выборочно по усмотрению заказчика или генерального подрядчика с целью проверки эффективности ранее проведенного производственного контроля. Этот вид контроля может быть проведен на любой стадии монтажных работ.

Результаты контроля качества, осуществляемого техническим надзором заказчика, авторским надзором, инспекционным контролем и замечания лиц, контролирующих производство и качество работ, должны быть занесены в Журнал работ по монтажу строительных конструкций и зафиксированы в Общем журнале работ.

Качество производства работ обеспечивается выполнением требований к соблюдению необходимой технологической последовательности при выполнении взаимосвязанных работ и техническим контролем за ходом работ, изложенным в Проекте организации строительства и Проекте производства работ, а также в Схеме операционного контроля качества работ. Контроль качества монтажа ведут с момента поступления конструкций на строительную площадку и заканчивают при сдаче объекта в эксплуатацию.

3.2 Определение экономической целесообразности выбора материала для повышения теплозащиты узла сопряжения сэндвич-панелей

В жизненном цикле здания на стоимость строительства приходится пятая часть общих затрат, остальные расходы - это затраты на эксплуатацию. Безусловно, первостепенным критерием выбора материалов и конструктивных решений, закладываемых в проект или применяемых при строительстве, является стоимость начальных вложений. Также становится очевидным и тот факт, что уменьшение расходов на эксплуатацию становится ключевым условием в решении задач экономической эффективности вложений и энергоэффективности.

Целью / задачей рассчитанного мною варианта является модификация узлового соединения сэндвич-панелей для повышения теплозащиты стеновой конструктивной схемы с применением различных современных строительных материалов. Для решения поставленной задачи следующие цели:

- вычисление и исследование тепловых полей узла ограждающей конструкции на примере типового узла сопряжения сэндвич-панелей с теплоизоляционным слоем в стыке из монтажной пены;
- выявление потенциальных мостиков холода в рассматриваемом типовом узле и доработка (модификация) его для повышения теплозащитных качеств.

Для проверки энергоэффективности ограждающей конструкции выбрано угловое соединение стеновых сэндвич-панелей с теплоизоляционным слоем в стыке из монтажной пены (вариант 1, таблице 29).

Физико-механические свойства материалов стеновой конструктивной схемы отражены в таблице 30, а рассчитанные характеристик в программном комплексе Elcut по внутреннему и наружному контурам отражены в таблицах 31, 32.

Показатели силы теплотерь через теплопроводные включения определяются при помощи компьютерного моделирования температурных полей в программном комплексе Elcut.

Заданы следующие граничные условия:

1) температуры внутреннего и окружающего воздуха: $T_{\text{вн}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ и $T_{\text{нар}} = -37 \text{ }^\circ\text{C}$;

2) коэффициенты теплопередачи внутренней и наружной поверхности ограждающих конструкций соответственно: 8,7 и 23 Вт/м²·°C

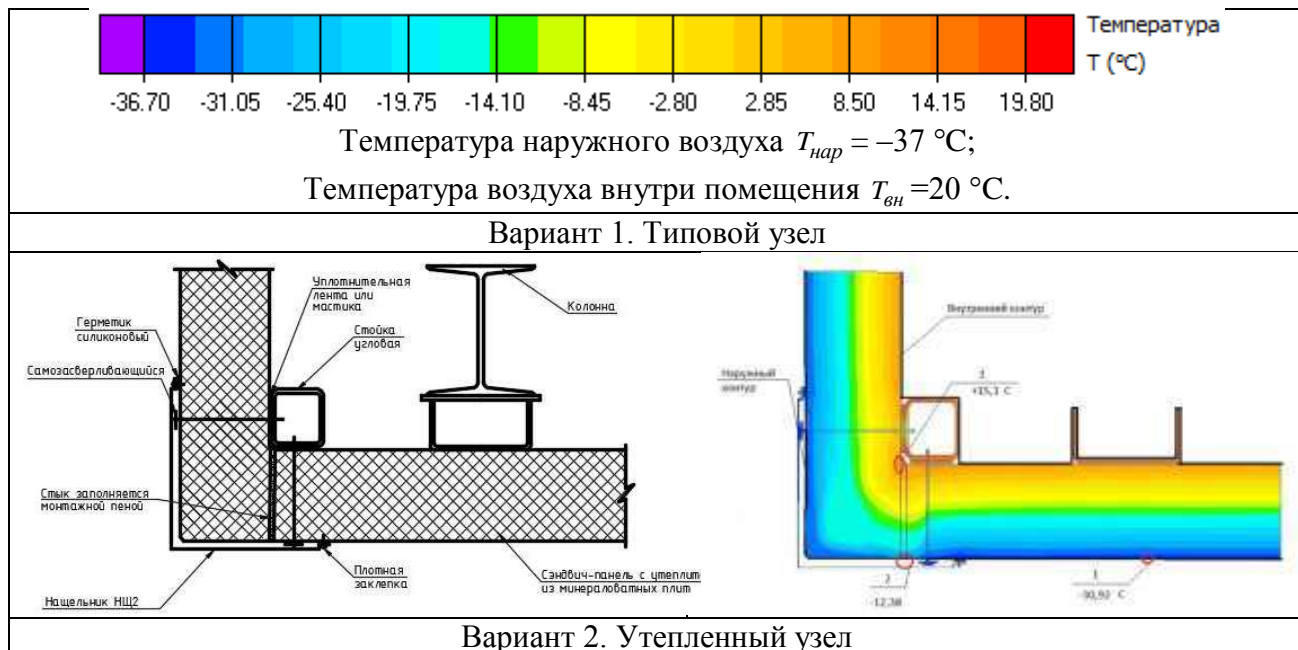
Типовым решением для конкретного узла теплоизоляции стыка сэндвич-панелей является устройство теплоизоляционного слоя из монтажной пены. При температуре наружного воздуха $-37 \text{ }^\circ\text{C}$ температура в стыке по наружному контуру составляет $-12,4 \text{ }^\circ\text{C}$. Разница между значениями температур наружного воздуха и наружной поверхности в стыке сэндвич-панелей составляет $24,6 \text{ }^\circ\text{C}$. Это объясняется тем, что тепловой поток проходит в направлении из помещения к наружной части стены через стык сэндвич-панелей тем самым «прогревает» наружную поверхность узлового соединения. В результате формируется мостик холода.

Судя по направлению векторов тепловых потоков в программном комплексе Elcut, основные теплотери происходят в направлении от внутреннего контура в области стыка сэндвич-панели. Этим объясняется понижение температуры поверхности угла в помещении ($15,1 \text{ }^\circ\text{C}$), а также

повышение поверхности угла контуру с наружной части соединения (-12,4 °С).

Анализ значений тепловых потоков, полученных по внутреннему и наружному контурам здания, показывает их расхождение. Объясняется это тем, что при расчёте в программном комплексе Elcut учитываются площади внутреннего и наружного контуров здания, которые отличаются между собой (таблица 29, вариант 1). Так, при расчёте теплового потока по наружному контуру учитываются тепловые потери из помещения здания. Для сравнения степени энергоэффективности базового варианта 1 конструктивного исполнения стенового узла выбран тепловой поток по наружному контуру, характеризующий тепловые потери из помещений. Численное значение теплового потока по наружному контуру данного конструктивного решения составляет 78.2 Вт (таблица 32).

Таблица 29 – Базовый и модифицированный стеновой узел со средним теплоизоляционным слоем из пенополистирола рассчитанный в программном комплексе Elcut



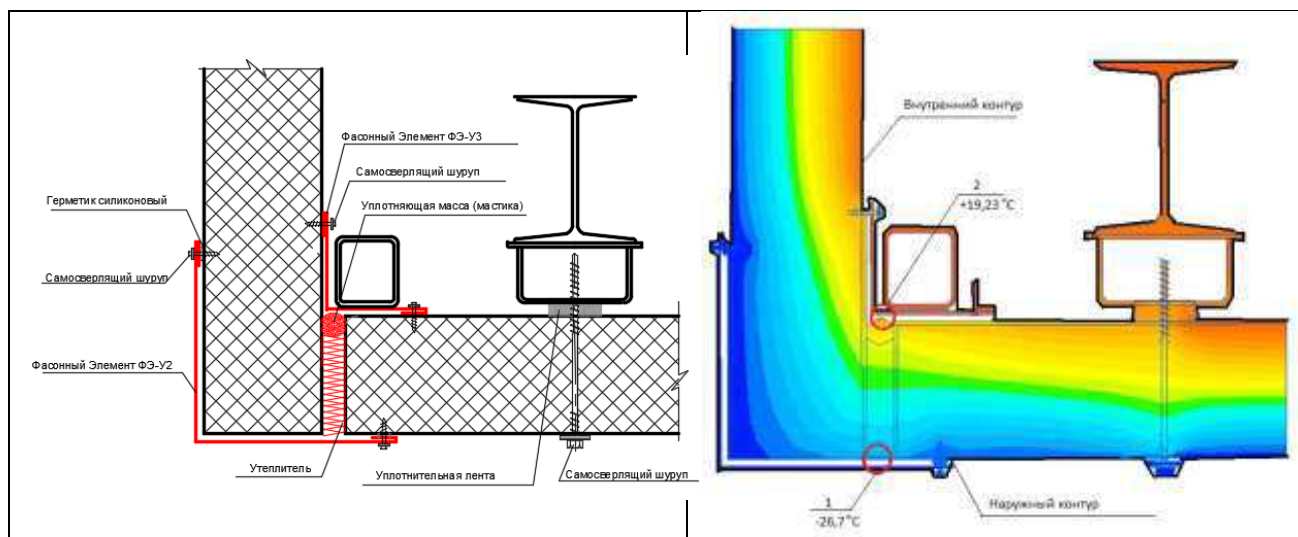


Таблица 30 – Физико-механические свойства материалов узлов

№ позиции*	Материал	Плотность материала, кг/м ³	Расчётный коэффициент теплопроводности, Вт / (м·°С)
1	Оцинкованный лист с полимерным покрытием	7850	52
2	Минеральная плита	105	0,035
3	Монтажная пена	23-35	0,033
4	Герметик	1050	0,35
5	Мастика	100	0,032

Таблица 31 – Теплотехнические показатели по внутреннему контуру ($T_{вн} = 20$ °С)

Модель (узел)	Тепловой поток, Вт	Соотношение, %	Экономия тепла, %	Средняя температура поверхности T_s , °С
Вариант 1	75,1	100	-	15.1
Вариант 2	29.3	39.02	60.98	19.2

Таблица 32 – Теплотехнические показатели по наружному контуру ($T_{нар} = -37$ °С)

Модель (узел)	Тепловой поток, Вт	Соотношение, %	Экономия тепла, %	Средняя температура поверхности T_s , °С
Вариант 1	78.2	100	-	12.4
Вариант 2	32.1	41.05	58.95	26.7

При использовании минеральной ваты в качестве утеплителя в стыке и уплотнительную массу в качестве герметизации стыка в модифицированном варианте 2 в таблице 29 наблюдается снижение теплового потока по наружному контуру по сравнению с исходным вариантом 1 на 41,1 % (таблица 32), а при этом уменьшение теплопотерь достигает с стороны помещения 39,02 % (таблица 31). Благодаря этому, на основании расчётов выполненных в программном комплексе Elcut можно сделать вывод, что применение минеральной ваты в качестве утеплителя в стыке и уплотнительную массу в качестве герметизации стыка существенно сокращает теплопотери из помещений в окружающую среду.

На основании компьютерных расчётов модели в программном комплексе Elcut с позиции рассуждения энергоэффективности самым рациональным решением является модифицированный вариант 2, что позволяет снизить теплопотери помещений через узел в сравнении с типовым вариантом 1 на 39,02 %.

Наглядным примером было продемонстрировано, что при должном внимании проработке конструктивных решений узлов сопряжений сэндвич-панелей, возможно, достичь снижения теплопотерь до 40% и более за счёт устранения мостиков холода, что демонстрирует программный комплекс Elcut. Выяснено, что замена в стыке сэндвич-панелей утеплителя из монтажной пены на утеплитель из минеральной ваты и добавление уплотнительной массы в качестве герметизации стыка повышает энергоэффективность узла с точки зрения устранения мостика холода в направлении жилого помещения на 39,02 %.

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что предлагаемое конструктивное решение позволяет достичь в объектах с ограждающими конструкциями из сэндвич-панелей комфортных условий пребывания граждан. Продуманный подход к выбору теплоизоляционного материала и эффективное его применение в узлах конструкций не только

устраняет теплопотери, но и повышает общий эксплуатационный срок стеновых ограждающих конструкций, а значит и самого строения в целом.

Возвращаясь к экономической стороне вопроса предложенного утепленного типового конструктивного решения (вариант 2) повышения энергоэффективности узла произведены по каждому варианту экономические расчёты по количеству затрачиваемой энергии на обогрев 1 м² поверхности стены. Сравнение цен материалов на 1 м² приведено в таблице 33.

Таблица 33 – Сравнение цены материала в розничной продаже в г. Абакане для утепления стыка сэндвич-панелей

Наименование материала Торговая площадка	Монтажная пена, руб за 1 баллон	Минеральная вата, руб за 1 уп.
1	245,00-469,00	–
2	–	1066,00-1240,00

Повышение энергоэффективности предложенного модифицированного базового конструктивного решения (варианта 2) узла принято сравнивать не только по стоимости материалов применяемых при утеплении стыка сэндвич-панелей, но и по количеству затраченной энергии необходимой для поддержания температуры поверхности внутреннего контура помещения при эксплуатации в пределах нормативных температурных значений. На основании данных таблицы 31 тепловой поток за 1 час для внутреннего контура варианта 1 составляет 75,1 Вт/м² с использованием утеплителя из монтажной пены в стыке сэндвич-панелей, а для варианта 2 соответственно 29,3 Вт/м² уже с использованием в качестве утеплителя минеральную вату. В международной системе единиц (СИ) 1 Вт/м² = 0,86 Ккал/ч.

Согласно [53] необходимое количество затраченной энергии для нагрева (1 °С = 0,001 Гкал) и подачи 1 м³ воды в систему ГВС для г. Абакана составляет 0,0755 Гкал (1 Гкал = 1 000 000 Ккал). Цена для пользователей 1 Гкал на 17.05.2019 для г. Абакана составляет 1380 руб.

Исходя из данных теплового потока таблицы 31, произвели расчёт необходимого количества энергии затрачиваемого на поддержание $t_{вн}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ внутри эксплуатируемых помещений в зимний период для конструктивных вариантов 1 и 2.

Количество затраченной энергии тепла для поддержания $t_{вн}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (варианта 1) на 1 м^2 внутреннего контура стены составляет:

$$1 \text{ час: } 75,1 \cdot 0,86 = 64,59 \text{ Ккал/ч;}$$

$$1 \text{ сутки: } 64,59 \cdot 24 = 1\,550,16 \text{ Ккал/сут;}$$

$$1 \text{ месяц (31 день): } 1\,550,16 \cdot 31 = 48\,054,96 \text{ Ккал/мес.}$$

Для наибольшей удобства дальнейших расчётов переведём Ккал в Гкал:

$$48\,054,96 / 1\,000\,000 = 0,048 \text{ Гкал/мес.}$$

Итоговая стоимость (руб) затраченной энергии тепла для поддержания $t_{вн}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 1 м^2 внутреннего контура стены в месяц составляет:

$$0,048 \cdot 1380 = 66,24 \text{ руб/мес.}$$

По аналогии произвели расчёт количества затраченной энергии тепла для поддержания $t_{вн}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (варианта 2) на 1 м^2 внутреннего контура стены:

$$1 \text{ час: } 29,3 \cdot 0,86 = 25,20 \text{ Ккал/ч;}$$

$$1 \text{ сутки: } 25,20 \cdot 24 = 604,75 \text{ Ккал/сут;}$$

$$1 \text{ месяц (31 день): } 604,75 \cdot 31 = 18\,747,31 \text{ Ккал/мес.}$$

Для наибольшей удобства дальнейших расчётов переведём Ккал в Гкал:

$$18\,747,31 / 1\,000\,000 = 0,019 \text{ Гкал/мес.}$$

Итоговая стоимость (руб) затраченной энергии тепла для поддержания $t_{вн}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 1 м^2 внутреннего контура стены в месяц составляет:

$$0,019 \cdot 1380 = 26,22 \text{ руб/мес.}$$

Для более детального анализа полученных результатов сведём их в табличную форму и переведём Ккал в денежный эквивалент (руб) для наибольшей наглядности.

Таблица 34 – Результаты расчётов затраченной энергии тепла на 1 м² ограждающей стеновой конструкции в денежном (руб) эквиваленте

Затраты на обогрев 1 м ² стены, руб	В течение 1 часа, руб	В течение 1 суток, руб	В течение 1 месяца (31 день), руб
Показатели			
Вариант 1	0,089	2,14	66,24
Вариант 2	0,034	0,83	26,22
Экономия затрат на обогрев 1 м ² ограждающей конструкции, %	61,8	61,21	60,42

о том что: предложенный утепленный вариант 2 с использованием в стыке сэндвич-панелей утеплителя из минеральной ваты и

3.3 Вывод по главе

Анализ полученных результатов по экономической целесообразности выбора материала для повышения теплозащиты узлов сопряжения из сэндвич-панелей позволяют сделать ряд выводов:

1 При расчете на экономическую целесообразность выбора материала для повышения теплозащиты узлов сопряжений из сэндвич-панелей был произведен расчет типового углового соединения сэндвич-панелей с утеплителем из монтажной пены в стыке и утепленного углового соединения с утеплителем из минеральной ваты в стыке. Где выяснилось, что использование монтажной пены не выгодно, так как количество затраченной энергии тепла на 1 м² значительно выше, чем количество затраченной энергии тепла на 1 м² у минеральной ваты, тем самым затраты на годовое обслуживание здания с использованием монтажной пены в узлах сопряжениях из сэндвич-панелей значительно выше, по сравнению с затратами при использовании утеплителя из минеральной ваты.

2 Рекомендовано использовать в качестве утеплителя узлов сопряжения из сэндвич-панелей – минеральную вату, так как у минеральной ваты низкая теплопроводность, обеспечивающая хорошую теплоизоляцию; небольшой вес утеплителя не будет увеличивать нагрузку на сэндвич-панели; искусственное происхождение утеплителя позволяет не беспокоиться о распространении вредоносных микроорганизмов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрены вопросы, связанные с теоретическим и экспериментальным изучением дефектов связанные с теплопотерями в эксплуатируемых зданиях с ограждающими конструкциями из сэндвич-панелей.

На основе изучения и анализа литературных источников выявлены способы создания сэндвич-панелей, а так же обнаружены недостатки в процессе изготовления и строительства, выявлены основные проблемы при эксплуатации сэндвич-панелей.

В результате проведенных диссертационных исследований получены следующие результаты и сделаны следующие выводы:

1 Результаты тепловизионного обследования фасадов эксплуатируемых объектов показали, что в соединениях ограждающих конструкций из сэндвич-панелей температура поверхности панелей выше на 3-4 градуса, чем основная часть фасада.

2 Полученные результаты расчета в программном комплексе Elcut Professional подтверждают наличие теплопотерь в узлах сопряжений панелей и позволяют определить за счет чего с точки зрения энергоэффективности происходят теплопотери в узловых соединениях ограждающих конструкций из сэндвич-панелей в эксплуатируемых зданиях.

Согласно расчету в узловых соединениях сэндвич-панелей происходят теплопотери за счет применения в узлах монтажной пены, так как возможно используется не качественный материал при заполнение стыков, также в процессе эксплуатации или в процессе строительства возможно проникание влаги или ультрафиолетового света в узловые соединения сэндвич-панелей, тем самым ухудшая качество монтажной пены.

3 Получена зависимость между коэффициентом теплопроводности монтажной пены и температурой поверхностей в местах сопряжений и креплений сэндвич-панелей.

Из результата расчета выявлено, что при увеличении коэффициента теплопроводности монтажной пены увеличиваются теплопотери в местах сопряжения сэндвич-панели, тем самым уменьшается срок эксплуатации здания в 2-3 раза.

4 Предложены практические рекомендации по устранению дефектов в узлах сопряжений и креплений сэндвич-панелях.

Особое внимание при проектировании узлов сопряжений и креплений сэндвич – панелей необходимо уделять герметичности швов, а так же создавать плотное соединение поверхностей между собой.

5 Выполнен расчет экономической целесообразности применения теплоизоляционных материалов в качестве утеплителя в узлах сопряжения сэндвич-панелях для климатического района г. Абакана.

Исходя из расчета эксплуатационных годовых затрат наиболее экономично использовать минеральную вату в качестве утеплителя в узлах сопряжения панелях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Подолян Л.А. Энергоэффективность жилых зданий нового поколения: Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. / Подолян Леонид Алексеевич. -Москва, 2005. С 185
- 2 Филиппсон Я.А. Анализ преимуществ и недостатков применения металлических «сэндвич»-панелей в строительстве/ [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2011. — Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2010/section11.html>
- 3 Гулик Ю.А. История возникновения и применения в строительстве "сэндвич"-панелей / Ю.А. Гулик // Научное обозрение. – 2015. - № 7. - С. 213-217
- 4 Наумов А.Е. Проектирование топологии стержневых систем при физических ограничениях / А. Е. Наумов//Сборник научных трудов Sworld. - 2012. - Т. 12. № 3. - С. 81-82
- 5 Семенкова Ю.Ю. Анализ конструктивных особенностей сэндвич - панелей и их влияние на стоимость /Ю.Ю. Семенкова, А.А. Константинова// Теоретические и практические проблемы развития современной науки.-2013. - №3– С.33-37
- 6 Константинов Д.Ю. Анализ причин возникновения дефектов при формировании клиновидных сэндвич-панелей / Д.Ю. Константинов, Л.П. Шабалин, В.В. Батраков// Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли.-2016.-С 734-738
- 7 Сверчкова Н.А. Выбор оптимального конструктивного решения покрытия с использованием стеновых сэндвич-панелей в кровле/ Н.А. Сверчкова, И.С. Казакова// Молодежь и системная модернизация страны.- 2016. – С. 126-129

- 8 Бобылев В.Н. Инженерный метод расчета звукоизоляции сэндвич-панелей с учетом двойственной природы прохождения звука/ В.Н. Бобылев, В.А. Тишков, П.А. Гребнев, Д.В. Мониц//Строительные науки.-2016.- С.134-138
- 9 Ермолович Г.Ю. Инновационные технологии в строительстве с использованием сэндвич-панелей / Г.Ю. Ермолович// Gaudeamus Igitur,-2016.- С. 38-41
- 10 Умнякова Н.П. Применение отражательной теплоизоляции в многослойных панелях с эффектом многократного отражения теплового потока/ Н.П. Умнякова, В.А. Кузьмин//Жилищное строительство.-2016-С.21-24
- 11 Гребнев П.А. Исследование звукоизолирующих свойств бескаркасных ограждающих конструкций из сэндвич-панелей/ П.А. Гребнев, Д.В. Мониц//Технические науки, строительство.-2014-С.53-58
- 12 Гуревич Т.М. К расчету несущей способности стеновых и кровельных сэндвич-панелей/ Т.М. Гуревич, Р.О. Торопов// Промышленное и гражданское строительство. 2015-С.15-20
- 13 Бабков А.Ю. Линии и установки по производству пенополиуретановых сэндвич-панелей/ А.Ю. Бабков//Пластические массы.-2007-С. 20-23
- 14 Осипович Л.М. Метод испытания сэндвич-панелей с минеральной ватой на долговечность/Л.М.Осипович, В.Е. Долженко В.Е.//Наука молодых-будущее России, 2016- С.58-62
- 15 Ведищева Ю.С. Многофакторное численное исследование теплотехнических свойств сэндвич-панелей вертикальной разрезки/ Ю.С. Ведищева, М.Ю. Ананьин// Строительные науки.-2012 –С.80-84
- 16 Грановский А.В. Технические решения при проектировании быстровозводимых зданий из сэндвич-панелей с утеплителем из пенополиизоцианурата в зонах повышенной сейсмической опасности/ А.В.

Грановский, А.И. Доттуев, Ю.Д. Макаров//Строительные материалы, оборудование, технологии XXIвека.-2018.-С22-23

17 Тумакова Е.В. Применение метода акустических измерений к сэндвич-панелям, изготовленных с использованием метода инъекции длинного волокна / Е.В. Тумакова//Инженерный вестник.-2015-С. 551-558

18 Гончарова М.А. Прогнозирование долговечности пенополиуретана в кровельных сэндвич-панелях / М.А. Гончаров, Б.А. Бондарев, А.О. Поскурякова//Строительные материалы и изделия, 2014-С.31-37

19 Рыженко С.Н. Современное оборудование для производства сэндвич-панелей/ С.Н. Рыженко, Ю.П. Шинкаревич//Инженерный вестник.-2018-С. 158-162

20 Рустемов Б.Е. Сравнение теплотехнических свойств на примере сэндвич-панели и стандартного утеплителя/ Б.Е. Рустемов, М.Н. Чекардовский// Строительные материалы и изделия, 2017-С.315-319

21 Арматова А.А. Сравнительный анализ материалов для изготовления сэндвич-панелей/ А.А. Арматова, Н.А. Антоненко// Строительные материалы и изделия, 2015-С.210-219

22 Казаков Ю.Н. Строительная система из сэндвич-панелей заводского изготовления Ю.Н. Казаков, С.А. Сычев //Строительные материалы, оборудование, технологии XXIвека.-2018.-С.45-49

23 Бурцева М.А. Сэндвич-панели. Материалы и конструкции/ М.А. Бурцева, Е.А. Медникова//Актуальные вопросы науки и практики в XXIв.-2016.-С.37-41

24 Данилов А.И. Экспериментально-теоретические исследования напряженно-деформированного состояния прогона покрытия из сэндвич-панелей/ А.И. Данилов, О.А. Туснина//Вестник.-2014.- С.26-36

25 Долгих Е.В. Экспериментально исследование композитных сэндвич-панелей, усиленных решеткой из углеродного волокна / Е.В. Долгих, У.А. Дышеков, М.Н. Семенов//Наука и бизнес: пути развития.-2017-С.49-52

- 26 Пат. 83782 Российская Федерация, МПК⁷ 2/12, 2/16, 2/20 Сэндвич-панель металлическая трехслойная/ В.Б. Черногиль; заявитель и патенто-обладатель науч.-исслед. ин-т связи.-заявл.15.11.04: опубл. 27.06.06, Бюл. № 23 (II ч.). – 3 с.
- 27 Пат. 125595 Российская Федерация, МПК⁷ 2012134616/03 Сэндвич-панель/Ю.В. Симоненко; заявитель и патенто-обладатель науч.-исслед. ин-т связи.-заявл.13.08.12; опубл.-10.03.13, Бюл.№7.-14 с
- 28 Пат. №125599 Российская Федерация, МПК⁷ 2012118204/3 Сэндвич-панель/ Е.Н. Третьяченко; заявитель и патенто-обладатель науч.-исслед. ин-т связи.- заяв. 03.05.12; опубл.-10.03.2013, Бюл.№7.- 9с
- 29 Пат. №62411 Российская Федерация, МПК⁷ 2008142093/22 Сэндвич-панель металлическая трехслойная/ Л.В.Идык, А.В. Скулыбердин; заявитель и патенто-обладатель науч.-исслед. ин-т связи.- заяв. 30.11.06, опубл.- 10.04.2007, Бюл.№4.- 8с
- 30 Пат. №64237 Российская Федерация, МПК⁷ 2007100400/22 Сэндвич-панель/ Е.В. Гайслер, Г.Г. Волокитин, Н.К. Скрипникова, Л.А. Аникова, И.А. Лысак; заявитель и патенто-обладатель науч.-исслед. ин-т связи.- заяв. 09.01.07, опубл.-27.06.07, Бюл.№2.-13с
- 31 Пат. №93834 Российская Федерация, МПК⁷ 2010100594/22 Теплоизолирующая и звукоизолирующая сэндвич-плита для строительства зданий и помещений из сэндвич-панелей/ С.А. Марков; заявитель и патенто-обладатель науч.-исслед. ин-т связи.- заяв.11.01.2010, опубл. 10.05.2010, Бюл. №7.- 14с
- 32 Пат. №104211 Российская Федерация, МПК⁷ 2010152439/03 Трехслойная наружная стеновая панель/ А.Ю. Герман, М.С. Плитина, Е.А. Белеская, М.Г. Панфилова; заявитель и патенто-обладатель науч.-исслед. ин-т связи.- заявл. 22.12.2010, опубл.-10.05.2011, Бюл.№7.-8с
- 33 Губенко А.Б. Строительные конструкции с применением пластмасс./А.Б.Губенко - Москва: Литература по строительству, 1970, - 328 с.

- 34 Губенко А.Б. Трехслойные конструкции покрытия с металлическими обшивками./А.Б.Губенко, Г.Я. Клятис, Н.М. Шоболов - Москва :Стройиздат, 1977, - 69 с
- 35 Григолюк Э.И. Линейная теория трехслойных оболочек с жестким наполнителем./ Э.И. Григолюк, П. П. Чулков//Доклады академии наук.-2012.- №4.- с 761–763
- 36 Доминчик В.В. Легкие ограждающие конструкции в строительстве/ В.В. Доминчик, О.И. Коруцки, В.Г. Меуш, С.С Кармилова - Москва: Стройиздат, 2006-371 с.
- 37 Ильдияров Е.В. Экспериментально теоретическая оценка надежности трехслойных кровельных панелей: Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. / Ильдияров Евгений Викторович-Самара, 2012. С 169
- 38 Иванов А.М. Конструкции с применением пластмасс./ А.М. Иванов, К.Я. Алганизов, Д.В. Мартинец - Москва: Высш. школа, 1997, - 290 с
- 39 Кармилов С.С. Металлические конструкции, совмещающие функции несущих и ограждающих. Материалы по металлическим конструкциям./ С.С. Кармилов, Н.М. Шоболов - Москва: Строиздат, 2005, - 212 с
- 40 Энергетическая стратегия России на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 года № 1715-р [Электронный ресурс]: база данных содержит информации о Информационно-правовом обеспечении. – Москва. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/96681/>.
- 41 ГОСТ 31168-2003 Здания жилые. Метод определения удельного потребления тепловой энергии на отопление. - Введ. 01.07.2003, - Москва: Госстрой России, 2003;
- 42 Корниенко С.В., Комплексная оценка теплозащиты ограждающих конструкций оболочки здания // Инженерно-строительный журнал. 2012. №7(33). С. 43–49.

- 43 Куприянов В.Н., Прогнозирование срока службы наружных стен зданий по критерию теплозащиты / В.Н. Куприянов, А.И. Иванцов.// Известия КГАСУ, 2014 год. с. 137-147
- 44 Малявина Е.Г., Теплопотери здания: Справочное пособие / Е.Г. Малявина. – Москва: АВОК – ПРЕСС, 2007 год. – 144 с.
- 45 СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – Введ. 01.07.2013. – Москва: Росстандарт, 2012. – 100с.
- 46 Гликин, СМ. Прогрессивные ограждающие конструкции промышленных зданий / СМ. Гликин. - Москва: Стройиздат, 1990. - 232 с.
- 47 Гринь, И.М. Строительные конструкции с применением пластических масс / И.М. Гринь, М.И. Илик, Е.А. Поберезкин, Н.А. Скворцов. - Харьков : изд-во харьковского университета, 1968. - 340 с.
- 48 Ермолов С.Б. Прочность трехслойных панелей с металлическими обшивками и наполнителем из пенопласта : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Сергей Борисович Ермолов. -Москва, ЦНИИСК им В.А. Кучеренко, 2009-23с
- 49 Найштут, Ю.С. Сотовые строительные конструкции: учебное пособие / Ю.С. Найштут. - Москва: изд-во Ассоциации строительных вузов, 1998.-140 с
- 50 Огнестойкие панели «сэндвич» с утеплителем из базальтовой ваты : Проспект ОАО «Самарский завод»[Электронный ресурс]: база данных содержит информации о сэндвич-панелях. – Режим доступа: <https://sendvichpan.ru>.
- 51 Панели-«сэндвич» : Проспект ОАО «Электрощит» [Электронный ресурс]: база данных содержит информации о сэндвич-панелях. – Режим доступа: <http://neobroker-foto-org.s3.amazonaws.com>.
- 52 Панели стеновые и кровельные: Проспект Челябинского завода профилированного стального настила [Электронный ресурс]: база данных содержит информации о сэндвич-панелях. – Режим доступа: <https://xn--80ajidrinhdbfg.xn--p1ai/holding/pao-chzpsn-profnastil/>

- 53 Стены и покрытия полистовой сборки [Электронный ресурс]: база данных содержит информации о сэндвич-панелях. – Режим доступа: <http://tekhnosfera.com/>
- 54 Стальные конструкции полносборных одноэтажных зданий системы «Батлер» (США)[Электронный ресурс]: база данных содержит реферативную информацию ЦИНИС. – Режим доступа: <http://www.vlsu.ru/fileadmin>
- 55 Строительные материалы и утеплители: проспект ЗАО «Мосстрой-31» [Электронный ресурс]: база данных содержит информации о сэндвич-панелях – Режим доступа: <http://tutteplo.ru/documents/Mosstroy31>
- 56 Тамплон, Ф.Ф. Металлические ограждающие конструкции / Ф.Ф. Тамплон. - Л.: Стройиздат, 1988. - 248 с.
- 57 Тамплон, Ф.Ф. Ограждающие конструкции из алюминиевых панелей / Ф.Ф. Тамплон. - Л.: Стройиздат, 1976. - 96 с.
- 58 Технический каталог строительных трехслойных панелей типа «Венталл-С», «Венталл-К» с минераловатным утеплителем: Проспект завода металлоконструкций «Венталл», 2009. - 34 с.
- 59 Трофимов, В.И. Легкие металлические конструкции зданий и сооружений / В.И. Трофимов, А.М. Каминский. - М. ; изд-во АСВ, 2002. - 576 с.
- 60 Хромец, Ю.Н. Промышленные здания из легких конструкций / Ю.Н. Хромец. - Москва: Стройиздат, 1978. - 176 с.
- 61 Хромец, Ю.Н. Современные конструкции промышленных зданий / Ю.Н. Хромец. - Москва: Стройиздат, 1982. - 351 с.
- 62 Чистяков, А.М. Легкие многослойные ограждающие конструкции / А.М. Чистяков. - Москва: Стройиздат, 1987. - 240 с.
- 63 Шебештьен, Д. Легкие конструкции в строительстве / Д. Шебештьен ; перевод с англ. М.С. Школьников. - Москва :Стройиздат, 1983. - 332 с.

- 64 Шоболов, Н.М. Легкие ограждающие конструкции с утеплителем на основе минеральных волокон / Н.М. Шоболов // Обзорная информация. - Москва :ВНИИНТПИ, 2001 г. - С. 23-25.
- 65 Штамм, К. Многослойные конструкции / К. Штамм, Х. Витте ; под ред. С.С. Кармилова ; перевод с нем. Т.Н. Орешкиной. - Москва: Стройиздат, 1983.-300 с.
- 66 Шунгский, Б.Е. Строительные конструкции с сотовым наполнителем / Б.Е. Шунгский. - Москва: Стройиздат, 1977. - 112 с.
- 67 Проспект фирмы «Budimpex»[Электронный ресурс]: база данных содержит информации о сэндвич-панелях. – Режим доступа: <http://www.budimpex.narod.ru/>
- 68 Фирма «Hoesch»[Электронный ресурс]: база данных содержит информации о сэндвич-панелях. – Режим доступа: <http://www.hoesch-design.ru/kompanija/>
- 69 Фирма «Metecno» [Электронный ресурс]: база данных содержит информации о сэндвич-панелях. – Режим доступа: <http://metecno.bg/index.php/bg/>
- 70 Хайруллин Л.Р. Несущая способность трехслойных панелей с металлическими обшивками и технологическими стыками среднего слоя: Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01./ Хайруллин Ленар Равилевич - М., 2005. 213 с.
- 71 Огнестойкие панели «сэндвич» с утеплителем из базальтовой ваты : Проспект ОАО «Самарский завод»[Электронный ресурс]: база данных содержит информации о сэндвич-панелях. – Режим доступа: <https://sendvichpan.ru>.
- 72 Касенов А.Е. Проблемы при эксплуатации сэндвич-панелей/А.Е.Касенов, М.Р. Закиров, И.В. Кулешов// Научные исследования и разработки молодых ученых.: 2016 г. - С. 13-18.
- 73 Корнилов Т.А О некоторых ошибках проектирования и строительства малоэтажных домов из легких стальных тонкостенных конструкциях в

условиях крайнего севера/ Т.А. Корнилов, Г.Н, Герасимов // Промышленное и гражданское строительство. 2015.- № 3.- С. 41-45

74 Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий/К.Ф. Фокин. - Москва: Стройиздат, 1973. - 286 с.

75 СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. – Введ. 1.01.2013. - Москва : ОАО «НИЦ «Строительство», 2012.- 109 с.

76 Бойков А. Г. Определение теплового потока через наружные ограждения [Электронный ресурс] // Интернет-Вестник ВолгГАСУ– Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru>.

77 Корниенко С. В. Повышение энергоэффективности зданий за счет снижения теплопотерь в краевых зонах ограждающих конструкций. - Волгоград: ВолгГАСУ, 2011.- 108 с.

78 Асаул А.Н., Теория и практика использования быстровозводимых зданий в обычных условиях и чрезвычайных ситуациях в России и за рубежом казаков / А.Н. Асаул, И.П. Князь, П.Ю. Ерофеев - Санкт-петербург: «Гуманистика» 2004г.-464 с.

79 Рубашкина, Т.И. Тепловая защита ограждающих конструкций, зданий в климатических условиях г. Чита / Т.И. Рубашкина -Чита:ЧитГУ, 2007.-с 37-41.

80 Лысенко Н.В. Прогнозирование и технологические условия повышения долговечности пенополиуретана для строительных изделий: Дис. ... канд. Техн.наук: 05.23.05./ Лысенко Николай Владимировч, Томск, 2007. 182 с.

81 Спасская А., Почему в платежках абаканцев теперь две строчки «горячая вода?» // Абакан сегодня. 2019.

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

Отпечатано в _____ 1 _____ экземпляре.

Библиография _____ 81 _____ наименований.

Один экземпляр сдан на кафедру.

« » 2019 г

подпись

инициалы, фамилия

Министерство науки и высшего образования РФ
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения
высшего образования
"СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"

Хакасский технический институт - филиал СФУ
институт

Строительство
кафедра

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Анализ причин возникновения дефектов и повреждений сэндвич-панелей в
эксплуатируемых зданиях

тема

08.04.01 Строительство
код и наименование направления

08.04.01.03 Теория и проектирования зданий и сооружений
код и наименование магистерской программы

Выпускник: Афанасьева Е.В.
Научный руководитель канд.техн.наук, доцент: Шибяева Г.Н.

Актуальность работы

Начало XXI века является активным формированием инновационных эффективных технологий при строительстве и реконструкции зданий и сооружений. Решение проблем ресурсосбережения при возведении зданий является одним из важных направлений повышения эффективности строительства. На сегодняшний день энергосбережение становится все более актуальной проблемой. Во всем мире уже давно ведется поиск путей понижения энергозатрат за счет его рационального применения.

Для решения этой задачи необходимо проведение различных энергосберегающих мероприятий:

- применение эффективных и экологически безопасных теплоизоляционных материалов;
- использование долговечных ограждающих конструкций;
- снижение теплопотерь.

Для этого необходимо выполнить экспериментальные и теоретические исследования объектов с ограждающими конструкциями из сэндвич-панелей для выявления дефектов во время эксплуатации здания.

Научная новизна

1. Экспериментально определены дефекты в зданиях с ограждающими конструкциями из сэндвич - панелей;
2. Впервые выявлены основные причины теплопотерь зданий с ограждающими конструкциями из сэндвич - панелей на основании расчетной компьютерной модели при помощи программного комплекса Elcut Professional;
3. Впервые получены численные зависимости между коэффициентом теплопроводности монтажной пены и температурой наружной и внутренней поверхности в узлах сопряжения сэндвич - панелей;
4. Предложены узлы исключаящие теплопотери в зданиях с ограждающими конструкциями из сэндвич-панелей;
5. Предложены рекомендации по устранению дефектов в узлах сопряжении сэндвич-панелей

Целью работы является проведение анализа причин возникновения дефектов в эксплуатируемых зданиях с ограждающими конструкциями из сэндвич-панелей для выявления теплопотерь в зонах сопряжения сэндвич-панелей.

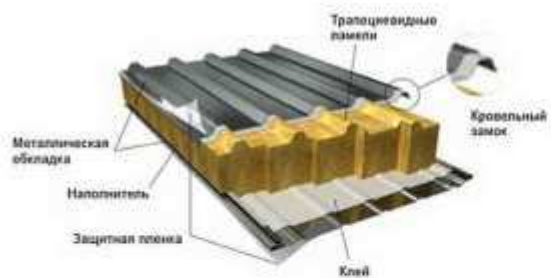
Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. выполнить анализ существующих конструктивных решений сэндвич-панелей;
2. провести тепловизионное обследование объектов с ограждающими конструкциями из сэндвич - панелей на предмет теплопотерь;
3. выполнить численные исследования компьютерной модели в программном комплексе Elcut для выявления причин теплопотерь в узловых соединениях;
4. минимизировать тепловые потери в узловых соединениях и примыкании сэндвич - панелей;
5. разработать практические рекомендации по минимизации теплопотерь и устранению дефектов в узловых соединениях из сэндвич - панелей на стадии проектирования

Практическая значимость

1. Выполнены экспериментально-теоретические исследования узловых соединений из сэндвич - панелей позволяющие выявить за счет чего происходят теплопотери в эксплуатируемых зданиях для их устранения;
2. Экспериментальные и теоретические исследования соединений ограждающих конструкций из сэндвич-панелей позволили получить информацию о долговечности материала в узловом соединении из сэндвич-панелей с использованием монтажной пены;
3. Предложены рекомендации усовершенствования узловых соединений из сэндвич-панелей для устранения теплопотерь в зданиях;
4. Результаты работы могут быть положены в основу проектных решений для строительства энергоэффективных зданий с ограждающими конструкциями из сэндвич - панелей.

Конструкция сэндвич-панели



Преимущества и недостатки сэндвич-панелей

Достоинства	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> - быстрая сборка без необходимости аренды здания - срок службы может достигать 50 лет - высокая пожарная безопасность - наличие звукоизоляции - высокая нагрузка на фундамент строения - не требуется дополнительная отделка - высокая энергоэффективность - короткий срок строительства объектов - материал экономичен по сравнению с другими конструкциями - возможность монтажа при любых условиях - предельно малый вес 	<ul style="list-style-type: none"> - не выдерживает существенные дополнительные нагрузки - высокая вероятность наружного повреждения - наличие коррозии в местах соединения - отсутствие утеплителя от стального листа - повреждение каркаса и крепежа в местах стыка панелей


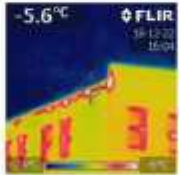






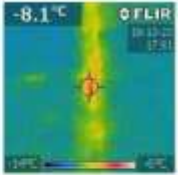
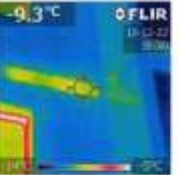

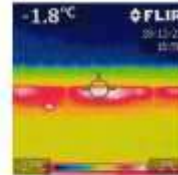

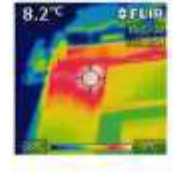
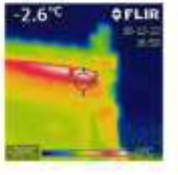
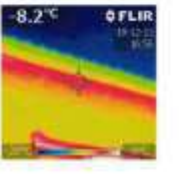
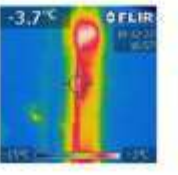
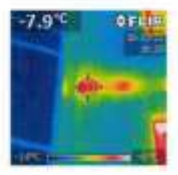

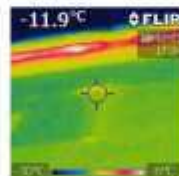



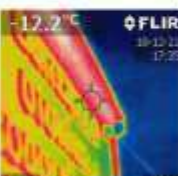


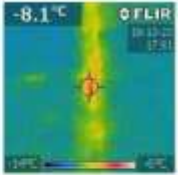
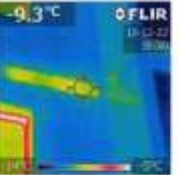

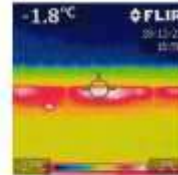

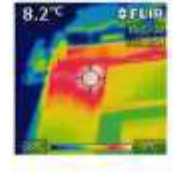
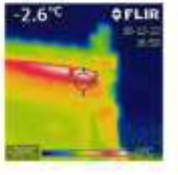
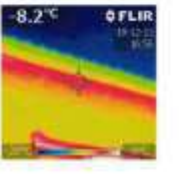
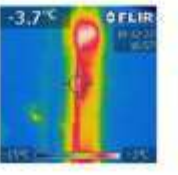
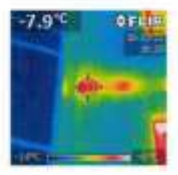

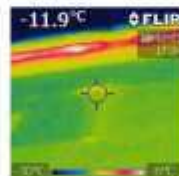



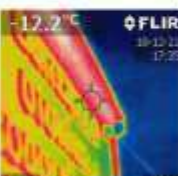

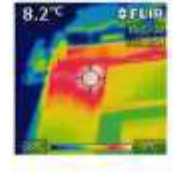
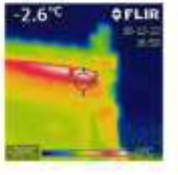
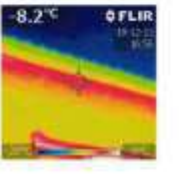
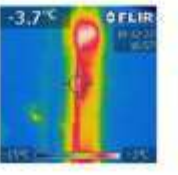
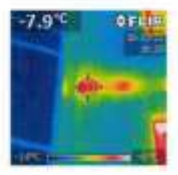

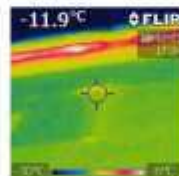



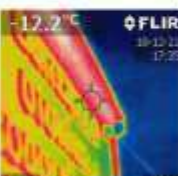

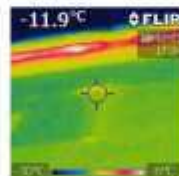



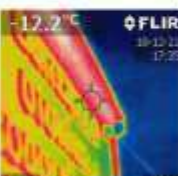
Технические характеристики утеплителей в сэндвич-панелях

Технические характеристики	Мин. вода	Пенополиуретол	Пеноплекс	Пенополиизоцианурат
1 Коэффициент теплопроводности - Вт/мК	0,036	0,034	0,022	0,021
2 Пористость	Открытая	Закрытая	Закрытая	Закрытая
3 Водопоглощение за 24 ч, %	15	1	2,5	2,5
4 Паропрони, кг/м3	не менее 105	не менее 11	не менее 38	не менее 140
5 Группы горючести	НГ	Г3	Г2	Г1
6 Диапазон рабочих температур	-30...+60	-50...+75	-50...+75	-50...+75
7 Выбросы вредных веществ при сгорании	Не имеют	Имеется азотистый, фосфорный	Имеется азотистый, фосфорный	Имеется азотистый, фосфорный
8 Срок службы	15	20	50 и более	50 и более
9 Экологичность	Аллерген	Биологичен	Биологичен	Биологичен
10 Биологический паразитизм	Грибок, плесень	Грибок, плесень	Нет	Нет
11 Плотность по времени	Плохая	Расширяется	Без изменений	Без изменений
12 Влажность, относительная	Средняя влажность	Средняя	Средняя	Средняя

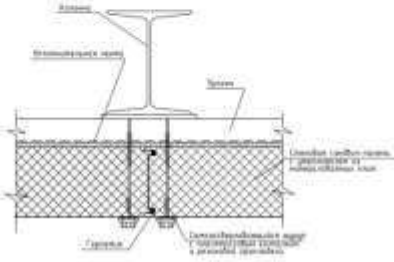
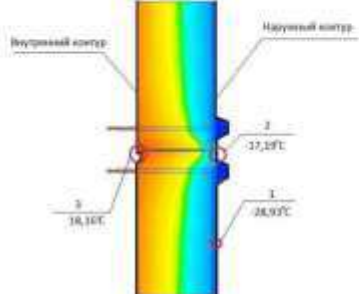
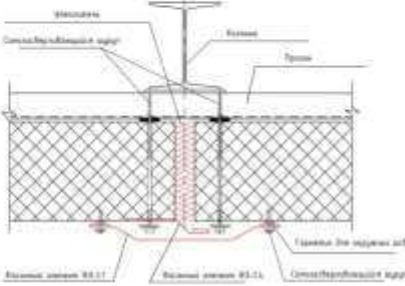
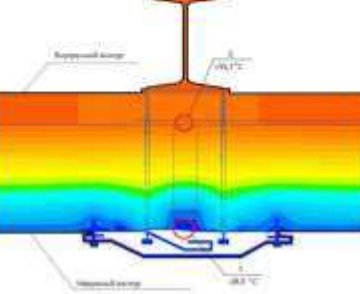
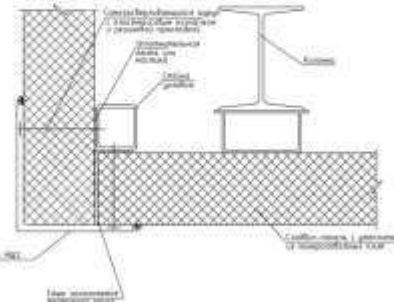
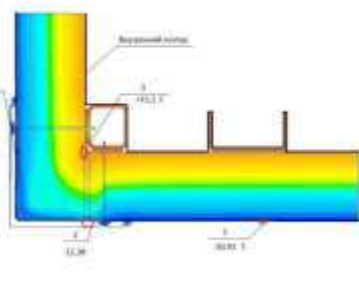
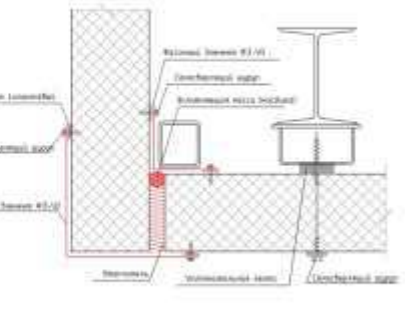
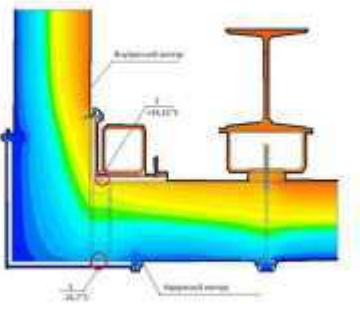
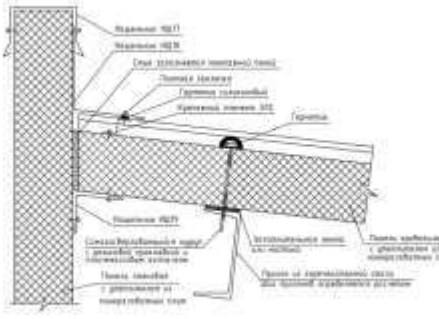
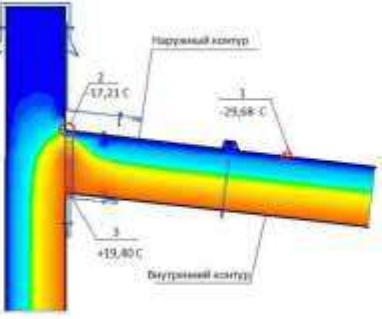
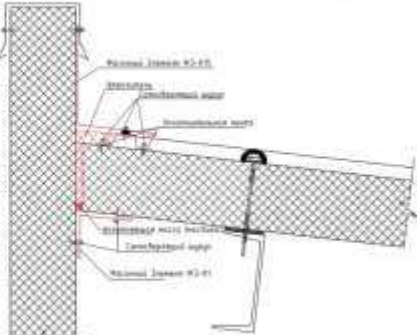
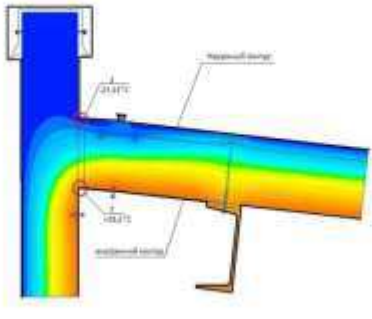
Проблемы при эксплуатации сэндвич-панелей

№	Фотографии дефектов сэндвич-панелей	Описание дефектов сэндвич-панелей	Практические рекомендации по устранению дефектов
1		Из практики использования сэндвич-панелей было выявлено, что часто в процессе эксплуатации кровельных сэндвич-панелей из минеральной ваты на нижнем листе сэндвич-панели выпадает конденсат, либо при нарушении герметизации влага проникает в полость утеплителя, и как следствие начинается протечка. Через 10-20 лет в такой кровельной сэндвич-панели произойдет процесс отсыпания утеплителя от стального листа, а также вымывание и расслоение.	Повышение теплоизоляционных качеств стеновых ограждающих конструкций заключается в увеличении их сопротивлении теплопередачи до нормативных значений, действующих в настоящее время. Это достигается увеличением стеной теплоизоляционными материалами, которые должны выдерживать все нагрузки бездействием защитно-декоративным слоем, способным при необходимости сохранить или улучшить архитектурно-художественного облика здания или панорамы. Следует отметить, что при увеличении количества крепежных элементов в узлах увеличивается прочность узлов соединений. Для устранения в процессе строительства или эксплуатации утечки панелей на опорах необходимо использовать определенные крепежные элементы, такие как болты, монтажные детали, заклепки. Применение заклепок осуществляется работ при устройстве по сравнению с другим способом соединений. При применении заклепок получается более плотное, герметичное соединение, соответственно повышается несущая способность на сдвиг; значительно меньше стоимость; больше разнообразие применения инструмента для установки заклепок: ручная пневматическая, аккумуляторная, простота установки, доступ к соединяемым элементам производится только с одной стороны. Применение монтажных деталей для порочения и механической монтажных систем, при соединении элементов отличает высокая скорость монтажа, особенно при использовании ленточной пилы газорезки и фрезы, однако при этом необходима высокая квалификация монтажника и соблюдение специальных мер техники безопасности.
2		Ненадлежащим образом в процессе эксплуатации выявляются значительные напряжения и деформации при температурно-влажностных воздействиях окружающей среды. Зимой различ температур. Внутреннего слоя сэндвич-панели и внешнего приводит к образованию в панели напряжений. В особенности для кровельных, где в узлах водит неизбежно скапливается снег; в зависимости от уклона, соответственно, и его количества. Водосток на поверхности сэндвич-панели уже под воздействием образуются коррозия. В случае это приводит к деформации панелей, снижению на опорах, приводит в результате. При смещении сэндвич-панели на опорах в процессе деформации нагрузка воздействует и на опоры, которые со временем начинают «вылезать» из панелей. Из-за смещения сэндвич-панелей под воздействием саморезов происходит влага, в следствие чего будет накапливаться в соединении сэндвич-панели, при этом начнет разбиваться проект коррозия саморезов.	Соединение сэндвич-панелей на выжимные заклепки и самонарезающиеся винты получили наибольшее распространение и отличаются высокой технологичностью, возможностью применения мобильными, в том числе аккумуляторного инструмента, небольшой энергозависимостью, независимостью от климатических условий, отсутствием в необходимости высокой квалификации монтажников, односторонностью размещения крепежа, а также небольшой стоимостью соединений. Из вышереченного следует, что наиболее эффективно использовать заклепочно-винтовое соединение сэндвич-панелей, так как за счет такого соединения отсутствует риск герметичности, в соединении панелей более плотное, вследствие этого влага не будет попадать в утеплитель, тем самым уменьшая вероятность вымывания или расслоения утеплителя в сэндвич-панели. За счет пневматической установки заклепочно-винтовое соединение возможно избежать перетягивание или недотягивание крепежа, тем самым можно увеличить несущую способность сэндвич-панели.
3		Из-за неаккуратности работ часто, в особенности нынешнего «кризиса» производства, нарушается технология изготовления сэндвич-панелей, а также происходит нарушение складирования сэндвич-панелей на строительной площадке, что приводит к окислению материала и деформации сэндвич-панелей.	С целью обеспечения необходимого качества строительных работ монтажно-сборочные работы должны выполняться в соответствии с требованиями. До проведения монтажных работ сэндвич-панели, соединительные детали, арматура и средства крепления, поступающие на объект, должны быть подвергнуты тщательному контролю. Количество изделий и материалов, подлежащих входному контролю, должно соответствовать нормам, приведенным в технических условиях и стандартах. Сэндвич-панели, соединительные детали, а также средства крепления, поступающие на объект, должны иметь сопроводительный документ (паспорт), в котором указывается наименование конструкции, ее марка, масса, дата изготовления. Паспорт является документом, подтверждающим соответствие конструкций рабочим чертежам. Результаты входного контроля оформляются Актом и заносится в Журнал учета входного контроля материалов и конструкций.
4		Так как заказчик не имеет других способов, как за свой деньги, не может проверить качество изготовления сэндвич-панелей, а также проследить за качеством строительных работ, из этого можно предположить, что качество материала и качество работ ниже заявленного. Из этого следует, что низкое качество используемого материала без предварительной проверки может проявиться в процессе эксплуатации через 2-3 года.	В процессе монтажа необходимо проводить операционный контроль качества работ. Это позволит своевременно выявить дефекты и принять меры по их устранению и предупреждению. Качество производства работ обеспечивается выполнением требований к соблюдению необходимой технологической последовательности при выполнении взаимосвязанных работ и техническим контролем за ходом работ, изложенным в Проекте организации строительства и Проекте производства работ, а также в Смете операционного контроля качества работ. Контроль качества монтажа будет с момента поступления конструкций на строительную площадку и закончится при сдаче объекта в эксплуатацию.

Тепловизионное обследование эксплуатируемых зданий из сэндвич-панелей на наличие мостиков холода

Объекты исследования	Описание объекта	Изображения тепловизионного излучения																																																					
	Расположение объекта: г. Абакан, ул. Торосова 1 Назначение здания: Торговое Материал стен: сэндвич-панели с минераловатным утеплителем Толщина стены: 150 мм	1 	2 	3 	4 	5 			Температура наружного воздуха $t_{н} = -12^{\circ}\text{C}$			Средняя температура измерений $t_{ср} = -6,5^{\circ}\text{C}$			Расположение объекта: г. Абакан, ул. Исаковского 11 Назначение здания: Торговое Материал стен: сэндвич-панели с минераловатным утеплителем Толщина стены: 120 мм	1 	2 	3 	4 	5 			Температура наружного воздуха $t_{н} = -15^{\circ}\text{C}$			Средняя температура измерений $t_{ср} = -4,4^{\circ}\text{C}$			Расположение объекта: г. Абакан, ул. Некрасова 31 А Назначение здания: Торговое Материал стен: сэндвич-панели с минераловатным утеплителем Толщина стены: 150 мм	1 	2 	3 	4 	5 			Температура наружного воздуха $t_{н} = -12^{\circ}\text{C}$			Средняя температура измерений $t_{ср} = -6,7^{\circ}\text{C}$			Расположение объекта: г. Абакан, ул. Некрасова 15А Назначение здания: Торговое Материал стен: сэндвич-панели с минераловатным утеплителем Толщина стены: 120 мм	1 	2 	3 	4 	5 			Температура наружного воздуха $t_{н} = -11^{\circ}\text{C}$			Средняя температура измерений $t_{ср} = -11,4^{\circ}\text{C}$	
		Температура наружного воздуха $t_{н} = -12^{\circ}\text{C}$			Средняя температура измерений $t_{ср} = -6,5^{\circ}\text{C}$																																																		
	Расположение объекта: г. Абакан, ул. Исаковского 11 Назначение здания: Торговое Материал стен: сэндвич-панели с минераловатным утеплителем Толщина стены: 120 мм	1 	2 	3 	4 	5 			Температура наружного воздуха $t_{н} = -15^{\circ}\text{C}$			Средняя температура измерений $t_{ср} = -4,4^{\circ}\text{C}$			Расположение объекта: г. Абакан, ул. Некрасова 31 А Назначение здания: Торговое Материал стен: сэндвич-панели с минераловатным утеплителем Толщина стены: 150 мм	1 	2 	3 	4 	5 			Температура наружного воздуха $t_{н} = -12^{\circ}\text{C}$			Средняя температура измерений $t_{ср} = -6,7^{\circ}\text{C}$			Расположение объекта: г. Абакан, ул. Некрасова 15А Назначение здания: Торговое Материал стен: сэндвич-панели с минераловатным утеплителем Толщина стены: 120 мм	1 	2 	3 	4 	5 			Температура наружного воздуха $t_{н} = -11^{\circ}\text{C}$			Средняя температура измерений $t_{ср} = -11,4^{\circ}\text{C}$															
		Температура наружного воздуха $t_{н} = -15^{\circ}\text{C}$			Средняя температура измерений $t_{ср} = -4,4^{\circ}\text{C}$																																																		
	Расположение объекта: г. Абакан, ул. Некрасова 31 А Назначение здания: Торговое Материал стен: сэндвич-панели с минераловатным утеплителем Толщина стены: 150 мм	1 	2 	3 	4 	5 			Температура наружного воздуха $t_{н} = -12^{\circ}\text{C}$			Средняя температура измерений $t_{ср} = -6,7^{\circ}\text{C}$			Расположение объекта: г. Абакан, ул. Некрасова 15А Назначение здания: Торговое Материал стен: сэндвич-панели с минераловатным утеплителем Толщина стены: 120 мм	1 	2 	3 	4 	5 			Температура наружного воздуха $t_{н} = -11^{\circ}\text{C}$			Средняя температура измерений $t_{ср} = -11,4^{\circ}\text{C}$																													
		Температура наружного воздуха $t_{н} = -12^{\circ}\text{C}$			Средняя температура измерений $t_{ср} = -6,7^{\circ}\text{C}$																																																		
	Расположение объекта: г. Абакан, ул. Некрасова 15А Назначение здания: Торговое Материал стен: сэндвич-панели с минераловатным утеплителем Толщина стены: 120 мм	1 	2 	3 	4 	5 			Температура наружного воздуха $t_{н} = -11^{\circ}\text{C}$			Средняя температура измерений $t_{ср} = -11,4^{\circ}\text{C}$																																											
		Температура наружного воздуха $t_{н} = -11^{\circ}\text{C}$			Средняя температура измерений $t_{ср} = -11,4^{\circ}\text{C}$																																																		

Результаты расчетов узлов сопряжений сэндвич-панелей в программном комплексе Elcut с учётом процессов теплопереноса

Типовые узлы	Диаграмма распределения теплового потока	Узлы после утепления	Диаграмма распределения теплового потока
Узел 1 - Соединение стеновых панелей по продольным кромкам и крепление их к каркасу здания			
			
Узел 2 - Угловое соединение стеновых сэндвич-панелей			
			
Узел 3 - Конструкция карниза при внутреннем решении водостока			
			

Продолжение таблицы на листе 6

Сводная таблица по результатам расчетов узлов сопряжения сэндвич-панелей в программном комплексе Elcut

Поз	Модель	Описание диаграмм распределения теплового потока
1	Узел 1	Температура в типовой стыке между сэндвич-панелью наружного контура составляет -17,2 °С, температура внутреннего контура составляет +18,5 °С, после утепления температура в стыке между сэндвич-панелью наружного контура составляет -28,3 °С. Из этого следует, что после утепления узла теплопотери отсутствуют, что подтверждает эффективность утепления и герметизации стыка.
2	Узел 2	В типовой стыке стеновых сэндвич-панелей температура наружного контура составляет -17,4 °С, температура внутреннего контура составляет +15,1 °С, после утепления температура в стыке стеновых сэндвич-панелей наружного контура составляет -26,7°С, температура внутреннего контура составляет +19,2 °С. Из этого следует, что после утепления узла теплопотери отсутствуют, что подтверждает эффективность утепления и герметизации стыка.
3	Узел 3	Температура в типовой примыкании стеновой и кровельной панели в наружном контуре составляет -17,2 °С, температура во внутреннем контуре составляет +19,4 °С, после утепления температура в примыкании стеновой и кровельной панели в наружном контуре составляет -27,2 °С. Из этого следует, что после утепления узла теплопотери отсутствуют, что подтверждает эффективность утепления и герметизации стыка.
4	Узел 4	Температура в типовой в стыке кровельных сэндвич-панелей температура наружного контура составляет -15,7 °С, температура внутреннего контура составляет +18,8 °С, после утепления температура в стыке кровельных сэндвич-панелей температура наружного контура составляет -29,3 °С. Из этого следует, что после утепления узла теплопотери отсутствуют, что подтверждает эффективность утепления и герметизации стыка.
5	Узел 5	Температура в типовой стыке стеновой и кровельной сэндвич-панелей наружного контура составляет -19,3 °С, температура внутреннего контура составляет +20,4 °С, после утепления температура в стыке стеновой и кровельной сэндвич-панелей наружного контура составляет -28,1 °С. Из этого следует, что после утепления узла теплопотери отсутствуют, что подтверждает эффективность утепления и герметизации стыка.
6	Узел 6	Температура в типовой примыкании стеновой панели к цокольной части здания составляет -19,4 °С. Температура внутреннего контура в примыкании стеновой панели к цокольной части здания составляет +18,4 °С, после утепления температура в примыкании стеновой панели и цокольной части составляет -33,7°С. Из этого следует, что после утепления узла теплопотери отсутствуют, что подтверждает эффективность утепления и герметизации стыка.

Результаты расчета при определении зависимости между коэффициентом теплопроводности монтажной пены и температурой поверхностей узла соединения сэндвич-панелей

Поз	Температура наружного контура	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·С)	Температура поверхности по наружному контуру, °С	Температура поверхности по внутреннему контуру, °С
1	-37	0,037	-17,2	+18,2
2	-37	0,036	-17,1	+18,2
3	-37	0,038	-18,8	+17,8
4	-37	0,041	-18,4	+17,1

Результаты температур поверхностей типовых узлов

Поз	Модель	Температура поверхности по наружному контуру в соединении сэндвич-панелей, °С	Температура поверхности по внутреннему контуру в соединении сэндвич-панелей, °С
1	Узел 1	-17,2	+18,2
2	Узел 2	-17,4	+15,1
3	Узел 3	-17,2	+19,4
4	Узел 4	-15,7	+18,8
5	Узел 5	-19,3	+20,4
6	Узел 6	-19,4	+18,4

Результаты температур поверхностей узлов после утепления

Поз	Модель	Температура поверхности по наружному контуру в соединении сэндвич-панелей, °С	Температура поверхности по внутреннему контуру в соединении сэндвич-панелей, °С
1	Узел 1	-28,3	+20,7
2	Узел 2	-26,7	+19,2
3	Узел 3	-27,2	+19,2
4	Узел 4	-29,3	+18,3
5	Узел 5	-28,1	+20,2
6	Узел 6	-33,7	+18,4

График зависимости коэффициента теплопроводности от температуры наружного контура

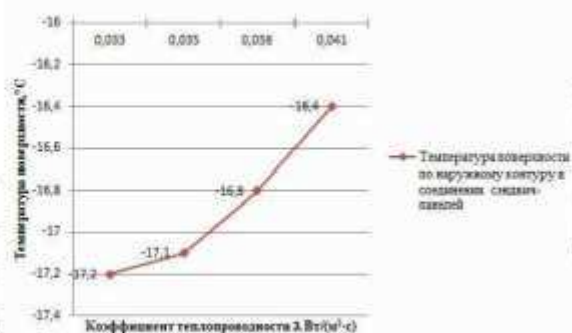


График температур поверхности по наружному контуру в соединениях сэндвич-панелей

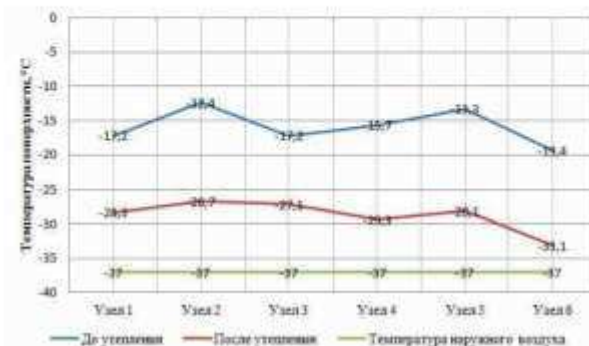


График температур поверхности по внутреннему контуру в соединениях сэндвич-панелей

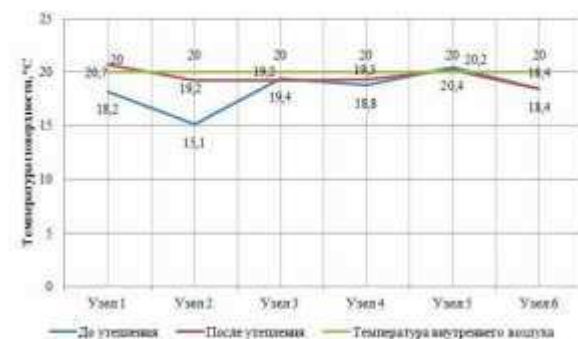
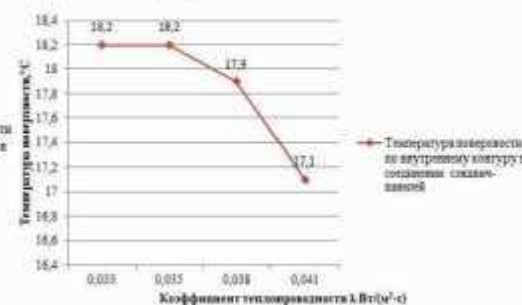


График зависимости коэффициента теплопроводности от температуры внутреннего контура



Результаты расчётов затраченной энергии тепла на 1 м² ограждающей стеновой конструкции в денежном (руб) эквиваленте

Пояс	Показатели	Затраты на оплату 1 м ² стены, руб		
		В течение 1 часа, руб	В течение 1 суток, руб	В течение 1 месяц, руб
1	Тепловый барьер	3,069	7,34	44,7
2	Утепленный барьер	0,834	0,83	24,2
3	Экономия затрат на оплату 1 м ² конструкции, %	61,8	61,2	60,4

Благодаря анализу экономического расчёта и результатов можно сделать вывод о том что: предложенный утепленный вариант 2 с использованием в стыке сэндвич-панелей утеплителя из минеральной ваты и добавление уплотнительной массы в качестве герметизации стыка, позволяет не только снизить стоимость строящегося объекта при утеплении узлов, но и в целом снизить тепловой поток по внутренней контуру ограждающей конструкции, что в целом позволяет снизить количество тепла попадаемого из помещения по мостикам холода образуемых в сопряжениях сэндвич-панелей.

Заключение

В работе рассмотрены вопросы, связанные с работе рассмотрены вопросы, связанные с теоретическим и экспериментальным изучением дефектов связанные с теплопотерями в эксплуатируемых зданиях с ограждающими конструкциями из сэндвич-панелей.

На основе изучения и анализа литературных источников выявлены способы создания сэндвич-панелей, а так же обнаружены недостатки в процессе изготовления и строительства, выявлены основные проблемы при эксплуатации сэндвич-панелей.

В результате проведенных диссертационных исследований получены следующие результаты и сделаны следующие выводы:

1 Результаты тепловизионного обследования фасадов эксплуатируемых объектов показали, что в соединениях ограждающих конструкций из сэндвич-панелей температура поверхности панелей выше на 3-4 градуса, чем основная часть фасада.

2 Полученные результаты расчета в программном комплексе Elcut Professional подтверждают наличие теплопотерь в узлах сопряжений панелей и позволяют определить за счет чего с точки зрения энергоэффективности происходят теплопотери в узловых соединениях ограждающих конструкций из сэндвич-панелей в эксплуатируемых зданиях.

Согласно расчету в узловых соединениях сэндвич-панелей происходят теплопотери за счет применения в узлах монтажной пены, так как возможно используется не качественный материал при заполнение стыков, также в процессе эксплуатации или в процессе строительства возможно проникание влаги или ультрафиолетового света в узловые соединения сэндвич-панелей, тем самым ухудшая качество монтажной пены.

1 Получена зависимость между коэффициентом теплопроводности монтажной пены и температурой поверхностей в местах сопряжений и креплений сэндвич-панелей.

Из результата расчета выявлено, что при увеличении коэффициента теплопроводности монтажной пены увеличиваются теплопотери в местах сопряжения сэндвич-панели, тем самым уменьшается срок эксплуатации здания в 2-3 раза.

2 Предложены практические рекомендации по устранению дефектов в узлах сопряжений и креплений сэндвич-панелей.

Особое внимание при проектировании узлов сопряжений и креплений сэндвич - панелей необходимо уделять герметичности швов, а так же создавать плотное соединение поверхностей между собой.

3 Выполнен расчет экономической целесообразности применения теплоизоляционных материалов в качестве утеплителя в узлах сопряжения сэндвич-панелях для климатического района г. Абакана.


Исходя из расчета эксплуатационных годовых затрат наиболее экономично использовать минеральную вату в качестве утеплителя в узлах сопряжения панелей.

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. Шibaева
подпись инициалы, фамилия

22 » 06 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Анализ причин возникновения дефектов и повреждений сэндвич-панелей в
эксплуатируемых зданиях»
тема

08.04.01. Строительство
Код и наименование направления


08.04.01.03 Теория и проектирование зданий и сооружений
Код и наименование магистерской программы

Научный руководитель

 Г.Н. Шibaева
подпись, дата должность, ученая степень

Г.Н. Шibaева
инициалы, фамилия

Выпускник

 21.06.19
подпись, дата

Е.В. Афанасьева
инициалы, фамилия

Рецензент

подпись, дата

Директор НО «МЖФ г. Абакана»
должность

В.Н. Хамин
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

 Г.Н. Шibaева
подпись, дата должность, ученая степень

Г.Н. Шibaева
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)
Шибяевой Галины Николаевны
(фамилия, имя, отчество заведующего кафедрой)


Рассмотрев магистерскую диссертацию студента группы № 37-3
Афанасьева Елена Витальевна
(фамилия, имя, отчество студента)

выполненную на тему: «Анализ причин возникновения дефектов
и повреждений сэндвич-панелей в эксплуатируемых зданиях»

по реальному заказу _____
(указать заказчика, если имеется)

с использованием ЭВМ: Microsoft Office Word 2010,
Microsoft Office Excel 2010, AutoCAD 2014, Mozilla Firefox, Elcut
(название задачи, если имеется)

Положительные стороны работы: исследованы конструктивные решения сэндвич-панели и на основе этого разработаны компьютерные модели узлов с применением программного комплекса Elcut: 1) С целью определения причин возникновения теплопотерь в узловых соединениях сэндвич-панелей. Основой исследования послужил анализ дефектов эксплуатируемых объектов г. Абакана. 2) На основе проведенных исследований предложены пути решения устранения дефектов и повреждений сэндвич-панелей в эксплуатируемых зданиях с технико-экономическим обоснованием.
в объёме 116 листов магистерской диссертации, отмечается, что работа выполнена в соответствии с установленными требованиями и допускается кафедрой к защите.

Зав. кафедрой Г.Н. Шибяева 

«22» 06 2019 г.

АННОТАЦИЯ

На магистерскую диссертацию

Афанасьевой Елены Витальевны
(фамилия, имя, отчество)

По теме: «Анализ причин возникновения дефектов и повреждений сэндвич-панелей в эксплуатируемых зданиях»

Актуальность тематики и ее значимость: Совершенствование легких ограждающих конструкций представляет собой большой интерес при возведении малоэтажных зданий. Одним из важнейших путей экономии топливно-энергетических ресурсов является сокращение тепловых потерь через ограждающие конструкции зданий. Применение высокоэффективных теплоизоляционных, огнеупорных материалов позволяют создавать легкие ограждающие конструкции, отвечающие современным требованиям архитектуры, а также позволяют сократить эксплуатационные затраты зданий за счет снижения теплотерь через наружные ограждения.

Использование ЭВМ: Во всех основных главах магистерской диссертации использованы стандартные и специальные строительные программы Microsoft Office Word 2010, Microsoft Office Excel 2010, AutoCAD2014, Internet Explorer, программный комплекс 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 изложены последовательно, носят конкретный характер и освещают 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, дата

Е.В. Афанасьева
инициалы, фамилия

Научный руководитель


подпись, дата

Г.Н. Шибаева
инициалы, фамилия

ABSTRACT

of the master's thesis

Afanaseva Elena Vitalevna

(surname, first name, patronymic)

Theme: “Analysis of reasons causing defects and damages of sandwich panels in buildings operated”

The relevance of the topic and its significance: The improvement of light cladding structures is of great interest in the construction of low-rise buildings. One of the most important ways to save fuel and energy resources is to reduce heat losses through the building of cladding structures. The use of highly effective heat-insulating, refractory materials allow creating light cladding structures that meet the modern requirements of architecture, as well as reducing the operating costs of buildings by decreasing heat losses through external cladding structures.

Usage of computer: The standard and special building programs Microsoft Office Word 2010, Microsoft Office Excel 2010, AutoCAD2014, Internet Explorer, ELCUT Professional software package were used in all major chapters of the master's thesis.

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

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

Coverage of the results: The research results are presented consistently, they are specific and cover all the stages of the study.

Degree of authorship: The master's thesis was done by me independently. The materials and conceptions used in the thesis from published scientific literature and other sources have links to them

Author of the master's thesis

 22.06.19
signature date

E.V. Afanaseva
initials, surname

Scientific supervisor

 22.06.19
signature date

G.N. Shibaeva
initials, surname

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

«28» 09 2017 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

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

Студентке: Афанасьевой Елене Витальевне
(фамилия, имя, отчество студента)

Группа 37-3 Направление (специальность) 08.04.01.03
(код)

«Теория и проектирование зданий и сооружений»
(наименование)

Тема выпускной квалификационной работы: «Анализ причин возникновения дефектов и повреждений сэндвич-панелей в эксплуатируемых зданиях»

Утверждена приказом по университету № 623 от 28.09.2017 г.,
№ 779 от 19.10.2018 г.

Руководитель МД Г.Н. Шибаева к.т.н., доцент, зав. каф., ХТИ – филиала СФУ
(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для МД: теоретические исследования в области существующих конструктивных решений и проблем при эксплуатации сэндвич-панелей

Перечень разделов МД: аналитический литературный обзор; характеристика исходных материалов; исследовательская часть, численные методы исследований в программном комплексе Elcut; пути решения устранения дефектов и повреждений сэндвич-панелей

Перечень графического или иллюстрационного материала с указанием основных чертежей, плакатов, слайдов 8 плакатов формата А1

Руководитель МД  Г.Н. Шибаева
(подпись) (инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению  Е.В.Афанасьева
(подпись) (инициалы и фамилия студента)

«28» 09 2017 г.

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

Отпечатано в _____ 1 _____ экземплярах.

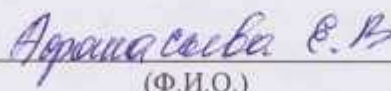
Библиография _____ 81 _____ наименований.

Один экземпляр сдан на кафедру.

« 21 » _____ 06 _____ 2013 г.



(подпись)



(Ф.И.О.)

