ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

На правах рукописи

КУЗНЕЦОВ АНАТОЛИЙ ВСЕВОЛОДОВИЧ

УЗЛЫ СОПРЯЖЕНИЯ ДИСКА ПЕРЕКРЫТИЯ С ОГРАЖДАЮЩИМИ СТЕНОВЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ В МОНОЛИТНОМ ДОМОСТРОЕНИИ

Специальность: 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Белаш Татьяна Александровна

Санкт-Петербург–2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 5
Глава 1. Состояние исследуемого вопроса..... 14
1.1 Общие положения 14
1.2 Анализ эксплуатационных качеств ограждающих конструкций с учётом влияния температурно-влажностного режима..... 17
1.3 Описание и анализ существующих конструктивных решений монолитных зданий 26
1.4 Дефекты и повреждения узлов сопряжения диска перекрытия с наружными ограждающими конструкциями 39
1.5 Выводы по главе. Цели и задачи исследования 42
Глава 2. Натурное обследование температурно-влажностного режима 44
помещений в гражданских зданиях монолитной конструкции 44
2.1. Вводные замечания 44
2.2. Описание состава аппаратуры и оборудования 45
2.3. Методика проведения теплотехнических исследований 49
2.4. Результаты натурных исследований ограждающих конструкций 53
2.4.1 Наблюдения проводимые по Комендантскому пр. 11 в 1 квартале 2006 г. 53
2.4.2 Наблюдения проводимые в жилом здании, Богатырский пр. 51 71
2.5. Выводы по главе 76
Глава 3. Расчётно-теоретическое исследование конструктивных узлов зданий..... 77
3.1 Разработка методики исследований узлов сопряжения плиты перекрытия со стеной 77
3.2 Математическое моделирование температурных полей предлагаемых узлов сопряжения диска перекрытия со стеной 79
3.2.1 Определение эффективной теплопроводности фрагмента диска перекрытия с перфорацией под термовкладыши 83
3.3 Решение температурных полей конструктивных узлов сопряжения дисков перекрытий со стеной..... 85
3.3.1 Узел сопряжения диска перекрытия со стеной. Тип-1 85
3.3.2 Узел сопряжения диска перекрытия со стеной. Тип-2 89
3.3.3 Узел сопряжения диска перекрытия со стеной. Тип-3 93

3.3.4 Узел сопряжения диска перекрытия со стеной. Тип-4 96
3.4 Оценка выявленных дефектов узлов на общие тепловые потери зданий 102
3.5 Пример расчёта приведённого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции с использованием способа определения эффективной теплопроводности для узла сопряжения диска перекрытия со стеной 107
3.5.1 Описание конструктивного решения здания 107
3.5.2 Расчет удельных потерь теплоты, обусловленных элементами, входящих в состав рассматриваемых конструктивных решений 110
3.5.3 Расчет приведенного сопротивления теплопередаче стены 111
3.6 Выводы по главе 115
Глава 4. Напряжённо-деформированное состояние узлов сопряжения диска перекрытия со стеной с учётом температурных воздействий 117
4.1 Вводные замечания 117
4.2 Описание расчётной модели 118
4.3 Напряжённо-деформированное состояние перфорированного диска перекрытия 119
4.3.1 Определение температуры замыкания 120
4.3.2 Вариант равномерного распределения температуры 123
4.4 Особенности напряжённо-деформированного состояния перфорированного диска перекрытия 126
4.5 Выводы по главе 133
Глава 5. Предлагаемые конструктивные решения узлов сопряжения дисков перекрытий со стеной 135
5.1 Описание усовершенствованных и новых конструктивных решений узлов сопряжения дисков перекрытий со стеной 136
5.1.1 Усовершенствованное устройство для повышения тепловой защиты зданий (вариант 1) 137
5.1.2 Предлагаемое устройство для повышения тепловой защиты зданий (вариант 2) ... 139
5.2 Исследование предлагаемых конструктивных решений узлов сопряжения диска перекрытия со стеной (термический анализ) 140
5.2.1 Постановка задачи исследования температурных полей 140

5.2 Исследование напряжённо-деформированного состояния узлов сопряжения диска перекрытия со стеной для предлагаемых вариантов 144
5.3 Выводы по главе 146
Заключение 148
Список литературы 150
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Письма, справки о внедрении, акты 178
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Результаты численного моделирования предлагаемых конструктивных решений 182
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Список работ, опубликованных автором по теме диссертации..... 200

Введение

Наша страна столкнулась с беспрецедентными вызовами, сформулированными, например, в Климатической доктрине и Доктрине энергетической безопасности Российской Федерации. В связи с этим остро стоит вопрос о безопасных условиях эксплуатации объектов строительного комплекса. В сфере гражданского строительства доля возведения зданий по монолитной технологии за период с 2009-2020 гг. составляет 16 % от общего объёма вводимого в строй жилья, построенного из других материалов.

Важной особенностью зданий, возводимых по монолитной технологии, является узловое соединение в зоне сопряжения диска перекрытия с ограждающими наружными стеновыми конструкциями. В консольной части монолитного диска перекрытия устраивается перфорация с последующим размещением в ней теплоизоляционного материала – термовкладыша. Применяемые в практике строительства такие конструктивные решения в сочетании со строительными материалами нового поколения приводят к непрогнозируемым последствиям с позиции обеспечения требуемых эксплуатационных качеств – механических, санитарно-гигиенических и теплотехнических. При этом, вопросы связанные с эксплуатационными качествами и безопасными условиями проживания в таких зданиях остаются недостаточно изученными и требуют комплексных исследований.

Актуальность темы исследования. Одной из ключевых задач Российской Федерации является вопрос повышения эксплуатационных качеств зданий и сооружений. Для её решения необходим комплексный подход, который в сфере строительства закреплён на федеральном уровне путём внедрения целого ряда законодательных инициатив, например, ФЗ №384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», отдельные положения которого послужили основой развития существующей нормативной базы.

Широкое распространение в строительной практике получило возведение зданий монолитной технологии. Характерная особенность таких зданий – узел сопряжения диска перекрытия с ограждающими наружными стеновыми конструкциями.

Для исключения промерзания в консольной части монолитного диска перекрытия устраивают перфорацию с последующим размещением в ней теплоизоляционного материала. В процессе эксплуатации, рассматриваемые конструктивные решения подвергаются климатическим воздействиям, оказывающим негативное влияние на техническое состояние конструкции и температурно-влажностный режим помещений, например: температурные деформации, теплотехнические дефекты. Характерными повреждениями являются: трещины, морозные выбоины, деструкция материала по глади стены, в состав которых входят – лицевой слой и торцы диска перекрытия. Недооценка этих факторов в совокупности образует череду локальных разрушений. Поэтому для обеспечения безопасности и создания комфортных условий проживания, с учётом теплофизических аспектов, повышение качества и разработка новых конструктивных решений являются актуальными и своевременными.

Степень разработанности темы исследования. Массовое строительство зданий по монолитной технологии на всём постсоветском пространстве получило развитие примерно с середины 90-ых гг. XX в. Специальные исследовательские задачи, оценивающие эксплуатационные качества таких домов, предшествующие стадии строительства имели разобщённый характер. Так например, с позиции строительной теплотехники вопросами связанными с теплозащитными качествами ограждающих конструкций занимались: Ермолаев Н. С., Мержвинский Б.Д., Бронер Д. Л., Гельберг Л. А, Кац Ю. М., Лобов И. О., Ананьев А. И., Кувшинов Ю. Я., Савин В.К., Табунщиков Ю. А., Хромец Д. Ю., Матросов Ю. А., Артёмов М. Д., Гурьянов Н. С., Киселёв И. Я., Маркус Т.А., Моррис Э.Н., Богословский В. Н., Малявина Е. Г., Сканави А. Н., Шафир А.И., Фокин К.Ф., Табунщиков Ю. А., Гагарин В.Г., Береговой А.М., Михеев А.П., Козлов В.В., Умнякова Н.П., Румянцева И.А., Хлевчук В.Р., Артыкпаев Е.Т., Дацюк Т.А., Бутовский И.И., Васильев Г.Н., Лыков А.В., Чистович С.А., Хромец Д.Ю., Перехоженцев А.Г., Орлович Р.Б., Ищук М.К., Немова Д.В. и др. авторы, работы которых учтены в диссертации.

Исследования, направленные на выявление напряжённо-деформированного состояния (НДС) узлов сопряжения диска перекрытия с наружными стеновыми конструкциями монолитных зданий с учётом температурно-влажностных воздействий, оценки их теплотехнических качеств носили локальный характер. Анализ выполненных исследований свидетельствует о том, что конструктивные решения в рассматриваемых типах здания требуют дальнейшего комплексного изучения.

Целью исследования является совершенствование конструктивных решений и повышение эксплуатационных качеств узлов сопряжений дисков перекрытий с наружной стеной с учётом влияния температурно-климатических воздействий и разработка рекомендаций по их использованию в составе теплозащитной оболочки здания.

Задачи исследования:

1) анализ эксплуатационных качеств ограждающих конструкций, включающий оценку механических, теплотехнических и санитарно-гигиенических показателей в зависимости от температурно-климатических воздействий;

2) проведение натурных обследований применяемых конструктивных решений узлов сопряжений дисков перекрытия с наружными стенами в монолитных домах на примере гражданских зданий Санкт-Петербурга;

3) построение математической модели для расчёта температурных полей в узле сопряжения диска перекрытия с наружной стеной с учётом теплотехнической неоднородности конструкции;

4) выполнение расчётов температурных полей в узлах сопряжения диска перекрытия с наружной стеной на основе разработанной математической модели и сравнительный анализ результатов моделирования с данными натурных обследований;

5) моделирование напряжённо-деформированного состояния (НДС) фрагмента диска перекрытия с различным шагом перфорации и учётом температурно-климатических воздействий, выявление мест концентрации напряжений и деформаций;

6) усовершенствование применяемых конструктивных решений и разработка новых узлов сопряжения диска перекрытия с наружными стенами с рекомендациями по их применению в составе теплозащитной оболочки здания.

Объектом исследования являются узлы сопряжения диска перекрытия с наружной стеной в гражданских зданиях, возведённых по монолитной технологии.

Предметом исследования являются эксплуатационные характеристики в части теплотехнических показателей и напряжённо-деформированного состояния узлов сопряжения диска перекрытия с наружными стенами.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1) на основе натурных и численных исследований установлены закономерности распределения температурных полей в применяемых на практике узлах сопряжения дисков перекрытий с наружными стенами с учётом реального влияния температурно-климатических воздействий на примере застройки Санкт-Петербурга;

2) разработана математическая модель тепломассопереноса для оценки температурных полей узлов сопряжения дисков перекрытий с наружными стенами;

3) впервые предложен инженерный способ расчёта эффективной теплопроводности участка диска перекрытия, снабжённого перфорацией, и разработана компьютерная программа по её определению;

4) усовершенствованы применяемые и предложены новые типы конструктивных решений узлов сопряжения дисков перекрытий с наружными стенами и разработаны практические рекомендации по их применению в составе теплозащитной оболочки здания.

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается:

1) в построении универсальной математической модели узла сопряжения диска перекрытия с наружной стеной с учётом теплотехнически неоднородных включений, её верификации для базового узла и численном моделировании температурных полей для предлагаемых типов конструктивных решений;

2) в разработке инженерного способа определения эффективной теплопроводности участка диска перекрытия, снабжённого перфорацией;

3) в результатах расчётно-теоретических исследований зданий монолитной конструкции, влияющих на объективную оценку эксплуатационных качеств с учётом температурно-климатических воздействий.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в следующем:

1) разработана программа для ЭВМ, позволяющая выполнять расчёты по определению эффективной теплопроводности участка диска перекрытия с перфорацией и сократить вычислительные трудозатраты при проектировании;

2) разработаны конструктивные решения, как усовершенствованные из числа применяемых на практике так и совершенно новые, защищённые патентами на полезную модель и обеспечивающие требуемые показатели тепловой защиты зданий.

Внедрение результатов работы. Результаты исследований были использованы при разработке пункта 13.16 раздела 13 «Мероприятия по улучшению тепловлажностного состояния многослойных каменных стен» регионального методического документа по строительству в Санкт-Петербурге РМД 51-25-2018 «Рекомендации по проектированию, монтажу и эксплуатации фасадных систем для нового строительства, реконструкции и ремонта жилых и общественных зданий в Санкт-Петербурге». Часть II. Рекомендации по эксплуатации и ремонту фасадных систем для нового строительства и реконструкции жилых и общественных зданий в Санкт-Петербурге», введённые в действие распоряжением Комитета по Строительству от 10.04.2018 № 57-р; а также нашли отражение в соответствующих разделах проектной документации строительных организаций Санкт-Петербурга и внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО ПГУПС при подготовке бакалавров и специалистов по направлениям 08.03.01 «Промышленное и гражданское строительство» и 08.05.01 «Строительство высотных и большепролётных зданий и сооружений».

Методология и методы исследований. При проведении натурных исследований применены методы визуального контроля и инструментальных измерений. В расчётно-теоретических исследованиях использованы теоретические методы, базирующиеся на фундаментальном законе Фурье, методе конечных элементов и численного анализа влияния температурных воздействий на НДС узлов сопряжения дисков перекрытий с наружными стеновыми ограждающими конструкциями.

Положения, выносимые на защиту:

1) результаты анализа и систематизации дефектов и повреждений узлов сопряжений дисков перекрытий с наружными ограждающими конструкциями в зданиях, возведённых по монолитной технологии, на примере гражданских зданий Санкт-Петербурга, с учётом температурно-климатических воздействий;

2) математическая модель тепломассопереноса узла сопряжения диска перекрытия со стеной;

3) результаты численного моделирования температурных полей применяемых на практике узлов сопряжения дисков перекрытий с наружными ограждающими конструкциями с учётом температурно-климатических воздействий;

4) инженерный способ определения эффективной теплопроводности для участка диска перекрытия с переменными геометрическими параметрами перфорации под термовкладыши;

5) результаты оценки напряжённо-деформированного состояния узлов сопряжения диска перекрытия с наружными ограждающими конструкциями с учётом температурно-климатических воздействий;

6) усовершенствованы известные и разработаны новые конструктивные решения узлов сопряжения диска перекрытия с наружными стенами.

Область исследования соответствует паспорту научной специальности ВАК 2.1.1. «Строительные конструкции, здания и сооружения» и относится к п. 7 «Разработка рациональных форм и параметров, объемно-планировочного решения зданий и сооружений исходя из условий размещения в застройке, функциональных и технологических процессов, теплофизических, светотехнических, акустических и иных санитарно-гигиенических условий, пожарной и экологической безопасности»; п.8 «Разработка новых и совершенствование рациональных типов несущих и ограждающих конструкций, конструктивных решений зданий и сооружений с учетом протекающих в них процессов, природно-климатических условий, механической, пожарной и экологической безопасности»; п.9 «Разработка и развитие теоретических основ и методов расчёта ограждающих конструкций зданий и сооружений с учётом природно-климатических, теплофизических, светотехнических, акустических и иных условий».

Степень достоверности результатов обеспечивается: корректным использованием научных положений в области строительной теплофизики; применением современных средств научных исследований с использованием сертифицированных приборов и программных комплексов, нормативных методик и расчётов; сопоставлением полученных результатов с данными натурных исследований.

Апробация результатов исследования

Результаты диссертационных исследований докладывались и обсуждались на отечественных и международных конференциях и форумах, по итогам которых были подготовлены сборники публикаций: научно-практическая конференция Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН). Новые исследования в областях водоснабжения, водоотведения, гидравлики и охраны водных ресурсов. Материалы 3-х академических чтений, проведённых в ПГУПС 11 и 12 апреля 2006 г.–СПб.; 2-ая межрегиональная научно-практическая конференция «Развитие монолитного домостроения в жилищно-гражданском строительстве». ООО «ЛЕННИИПРОЕКТ»– СПб., 24-27 марта 2009 г.; международная конференция в Mechanics Transport Communications 20-th International Scientific Conference «TRANSPORT», Sofia, (Болгария) 2011 г.; XVI научно-методическая конференция ВИТУ (22 марта, 2012г.)/ Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций/ СПбФВАТТ(ВИТУ); международная научная конференция. «Актуальные вопросы строительной физики. Энергосбережение. Надёжность строительных конструкций и экологическая безопасность». Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН), НИИСФ. Москва, 2013 г., 2-4 июля; международная конференция. Международный форум «Техника и строительные технологии транспорта-2014», Высшее транспортное училище «Тодор Каблешков» София (Болгария), 18-19 сентября 2014 г.; внутривузовская конференция «Проблемы и достижения в области строительного инжиниринга» посвящённая 150-летию каф. «Здания», Петербургский гос. ун-т путей сообщения императора Александра I. СПб., 2015 г.; научно-методическая XIX конференция ВИТУ (19 марта 2015 года)/ ВИ(ИТ) ВА МТО(ВИТУ). – СПб., 2015 г.; III Всероссийская научно-практическая конференция. Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники. Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского. СПб., 14-15 декабря 2016 г.; международная научно-практическая конференция “Строительные конструкции,

здания и сооружения. От науки до инновации", посвященной 90-летию кафедр железобетонных и каменных конструкций, конструкций из дерева и пластмасс, металлических конструкций и испытаний сооружений Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет». СПб., 10-11 июня 2021 г.; III Бетанкуровский международный инженерный форум ФГБОУ ВО ПГУПС (2-3 декабря 2021 г.). – СПб., 2021 г.

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 36 печатных трудах, включающих 6 статей в журналах, входящих в рецензируемый перечень ВАК, 2 статьи – в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science, 9 патентов на полезную модель, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, 18 публикаций, включённых в базу данных РИНЦ.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 250 наименований. Общий объем составляет 206 страниц машинописного текста, в том числе 94 рисунка, 30 таблиц.

В первой главе выполнен обзор научно-технической литературы; проанализированы вопросы, связанные с обеспечением требуемых параметров тепловой защиты зданий и отдельных конструктивных узлов, входящих в состав наружных ограждений; проведена систематизация существующих узлов сопряжения диска перекрытия со стеной. Выявлены случая возникновения дефектов и повреждений, приводящие к аварийным ситуациями в монолитных зданиях.

Во второй главе представлены результаты натурного теплотехнического обследования узлов сопряжения диска перекрытия со стеной на примере гражданских зданий Санкт-Петербурга.

В третьей главе выполнен численный эксперимент трёхмерных моделей, рассматриваемых типов ограждений. Для полученных температурных полей проведён анализ и дана оценка эксплуатационным и теплотехническим качествам таких конструкций.

В четвёртой главе представлена информационная модель исследуемого узла. Выполнен анализ поведения напряжённо-деформированного состояния с учётом

температурных воздействий. Дана оценка возникающим температурным деформациям и напряжениям.

В пятой главе предложены конструктивные решения узлов сопряжения диска перекрытия со стеной. Представлено подробное описание таких решений. Даны рекомендации по практической реализации, выполнен численный анализ, обосновывающий правомерность их применения с учётом современных требований тепловой защиты зданий.

В заключении приведены обобщённые выводы по результатам диссертационной работы и обозначены основные перспективы дальнейшего развития темы диссертационного исследования.

Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю д.т.н., проф. Белаш Т.А., коллегам- к.т.н., доц. Макову Ю.М., доц. Мартирову В.Б, инж. Иванову С.И., к.т.н., доц. Дёмину А.М. и моему отцу- Кузнецову В.А., чьи замечания были учтены при подготовке рукописи.

Глава 1. Состояние исследуемого вопроса

1.1 Общие положения

Одной из приоритетных задач в Российской Федерации, согласно Федеральным законам № 28-ФЗ, №261-ФЗ, № 384-ФЗ [63,213,214] является энергосбережение и повышение энергоэффективности. В сфере строительства исполнение сформулированных положений Федеральных законов обеспечивается путём разработки соответствующих проектных решений, позволяющих исключить неоправданные затраты на протяжении всего жизненного цикла зданий и сооружений. Вместе с тем, на эксплуатационные качества ограждающих конструкций и здания в целом оказывают различные виды внешних и внутренних воздействий, например, температурно-влажностные. Известно, что критерии оценки эксплуатационных качеств гражданских зданий включает в себя шесть уровней структуры качества [229, с.14-42] как, например, надёжность, безопасность, функциональность и реализация требований тепловой защиты зданий [9,188].

Последствия изменения глобального климата на территории Российской Федерации приносят колоссальный ущерб хозяйственно-экономической деятельности целого ряда регионов [85, с.11-12]. Проблематика такого характера нашла отражение в Климатической доктрине, в аналитическую структуру которой были включены качественная оценка процесса глобального потепления и обозначены границы области рисков, а также сформулированы задачи, обеспечивающие реализацию целого комплекса мер по адаптации и смягчению воздействий техногенного и антропогенного характера на климат [77, 90 с.45]. С учётом мировых тенденций, связанных с углеродной нейтральностью, на макро– и микроэкономическом уровнях поставленные задачи также решаются и в строительном секторе, включающие в том числе и вопросы связанные с повышение энергоэффективности зданий и сооружений [90 с.45]. С позиции строительных наук, особую практическую значимость имеют, появившиеся в по-

следнее время, целый ряд авторитетных изданий, свидетельствующих о глобальном изменении климата, его влиянии и фактическом учёте при проектировании зданий и сооружений [8,68,200].

Межправительственной группой экспертов, состоящей из Ю.А. Израэля, С.М. Семёнова и др. было признано, что современное состояние глобального потепления является беспрецедентным и неоднородным во времени [68,123,172,226].

Например, XX в. характеризуется тем, что мировая среднегодовая температура повысилась на 0,6°С и в полтора-два раза температура на территории России превысила глобальную [53,130]. В частности, в ряде статей было отмечено, что интенсивность потепления территории Российской Федерации составила в среднем 0,9° С за сто лет [54, 90 с.45, 91 с.121].

Для условий Санкт-Петербурга (Ленинграда) и его пригородов, Покровской Т.В, Бычковой А.Т. была выполнена работа по фиксации климатических сезонов, включающие даты их начала, продолжительности и конца [152]. Сведения, касающиеся динамики климатических изменений в срезе последних ста лет применительно к Санкт-Петербургу были подробно изучены и исследованы в работе Л.Н. Карлина, Ю.В. Ефимова [73]. Авторами особо отмечено, что начиная с 1980-х гг. наблюдается интенсивное повышение среднегодовой глобальной температуры воздуха, что привело к тому, что продолжительность зимнего периода, за указанный промежуток времени, сократилась на 13 дней по сравнению с первой половиной 20 в., преимущественно за счёт более раннего наступления весны. Сдвиг конца зимы сместился в сторону более холодной части года. Начало зимнего периода осталось неизменным, при этом зимы в районе С-Петербурга стали холоднее [73,90 с.45, 91 с.121].

Прогноз и тенденции изменения климата, вследствие урбанизации стран и изучения подходов в отношении энергосбережения и возможных последствий на территории Европейских стран и Российской Федерации изложены в ряде научных публикаций [1, 8, 73,78, 123,172, 225, 226, 247].

Территория Российской Федерации располагается в северной строительно-климатической зоне. Недооценка климатологических показателей в теплотехнических расчётах приводит к тому, что зачастую возводимые здания к началу своего жизненного цикла обладают низкими эксплуатационными характеристиками [225,84].

В области строительной климатологии последовали изменения при нормировании климатических параметров. Например, для г. С-Петербурга температура наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 ранее устанавливалась равной -26 ^{0}С [199], на настоящий момент это значение составляет -24^{0}С [183]. Наметившаяся тенденция дальнейших корректировок нормирования климатических параметров, принимаемых в расчетах, нашла отражение в докладах и статьях многих учёных нашей страны, например: Гагарина В.Г., Иванова В.С., Малявиной Е.Г. [27,105] и призвана учитывать их воздействие при проектировании наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений. Цель подобного рода изменений направлена на гармонизацию отечественных норм с европейскими и создание комфортной среды для проживания и работы.

За последнее время во многих регионах Российской Федерации и зарубежных странах наибольшее развитие получила сборно-монолитная и монолитная технология возведения зданий с различными типами конструктивных систем. Также активно внедряются в практику строительства панельные и каркасные здания нового поколения [124]. Анализ современного состояния сектора гражданского домостроения, проводимые С.В. Николаевым и коллективом ЦНИИЭП жилища, В.А. Шембаковым, А.Ф. Юдиной и др. подтвердил, что в настоящее время для зданий рассматриваемых типов продолжаются различные исследования по совершенствованию нормативной базы и поиску оптимальных объёмно-планировочных решений, а также теплозащитных, эксплуатационных и потребительских качеств [223, 224, 124,125,227, 230,231,246, 249].

В настоящей диссертационной работе осуществляется комплексный подход по рассмотрению подобного рода вопросов, направленных на повышение эксплуатационных качеств зданий на примере монолитного домостроения, с учётом температурно-климатических воздействий.

1.2 Анализ эксплуатационных качеств ограждающих конструкций с учётом влияния температурно-влажностного режима

В XX веке лавинообразный скачок в области научно-технического прогресса во многих странах мира дал возможность появления целого ряда новых областей науки, служащих развитию их экономик, затрагивающих различные аспекты государственной деятельности. Например, в сфере архитектуры и строительства глобальные перемены коснулись и принципов формообразования объёмно-планировочных решений зданий, создания и развития новых технологий, строительных материалов и изделий из них, появления прикладных научных направлений, совершенствования методов расчёта и нормативной базы и т.д. Набор этих и других признаков позволил расширить и ввести в научный оборот тот круг вопросов и понятий, ранее напрямую не входивших в компетенцию строительной науки.

В первой трети XX в. развитие научных знаний дало миру целый ряд новых направлений в области строительства, одним из которых стала строительная физика. В СССР значительный вклад в её становлении, в части относящейся к строительной теплотехники, внесли такие учёные и инженеры практики, как например: В.Д. Мачинский, О.А. Вутке, О.Е. Власов, К.Ф. Фокин, Л.А. Серк, Г.А. Селивёрстов, [23, 24, 25, 109, 110,111, 170, 171, 175, 176, 216, 217, 218,219]. Во многом, русские учёные опирались на опыт своих предшественников и современников, как среди соотечественников: Львов Н.А., А. П. Серебровский, В.М. Чаплин [97,174,173,220], так и иностранных, например: Флюгге Р. [215], Гробер Х., Хенки К., Каммемер Й. и др. [236**,** 238, 241, 242,243,244].

В своих статьях отечественные авторы критически подходили к существующему на тот момент несовершенству инженерных методов расчёта, предлагая свои решения и опираясь на основные положения классической физики. Вышеупомянутые учёные проводили исследования с детальным анализом теплотехнических качеств ограждающих конструкций зданий, как существующих, так и вновь возводимых. Принципы теплотехнического нормирования нашли отражение во многих постановлениях и ре-

шениях руководства РСФСР и легли в основу отечественной нормативной базы, начиная с 1929 г. Детальный анализ становления отечественной нормативной базы в области строительной теплофизики и его различные редакции описаны в монографии Ю.А. Матросова [108].

Вопросы экономии энергоресурсов стали толчком к реализации обеспечительных мер по тепловой защите зданий в ряде стран. Результатом этих действий, со стороны государств, стало внедрение стандартов и нормативных требований, направленных на повышение энергоэффективности во всех секторах экономики.

В Российской Федерации эти преобразования на государственном уровне стали активно осуществляться к середине 90-х гг. 20 в. В частности, в этот период, в целях повышения энергоэффективности было принято постановление на уровне Министерства строительства о внесении изменений к СНиП II-3-79* [66]**.** Годом позже, был утверждён Федеральный закон РФ № 28-ФЗ от 3 апреля 1996 г. «Об энергосбережении» [63]. Принятие этого закона потребовало внести корректировки в действовавшие на тот момент нормативные документы.

В соответствии с требованиями этого закона в области энергосбережения были разработаны стандарты: ГОСТ 51387-99, ГОСТ Р 51541-99 [41,43], а для оценки принимаемых решений на стадии проектирования уточнены отдельные параметры систем обеспечения микроклимата в новых зданиях ГОСТ Р 56502-2015 [46].

Известно, что эксплуатационные качества зданий зависят от ряда факторов, включающие климатические и температурно-влажностные воздействия, оказывающие значительное влияние на напряжённо-деформированное состояние ограждающих конструкций и формирование микроклимата помещений. В настоящее время, в сфере строительства для достижения нормальных условий эксплуатации при создании новых и проверке существующих типов ограждений, комбинированными способами расчёта, включающие методы строительной теплофизики и прочностного анализа решаются вопросы, связанные с напряжённо-деформированным состоянием конструкций.

Впервые критерии для теплотехнической и экономической оценки зданий, на основании детального анализа архитектурно-планировочной композиции, строительных решений и бытового теплопотребления в жилых домах были сформулированы в монографии Н.С. Ермолаева [60].

Годом позже, в 1950 г., в свет вышла монография Б.Д. Мержвинского, в которой был изложен метод оценки теплотехнической экономичности жилых и общественных зданий. Метод показательных эквивалентов, разработанный Б.Д. Мержвинским, вследствие трудоёмкости вычислений не нашёл широкого применения, но позволил объяснить существующий в то время разрыв между планируемым расходом топлива и фактическим его потреблением [112].

Ведущие специалисты НИИ жилища АСиА СССР (ЦНИИЭП жилища) проводили поиск, направленный на уменьшение расходов тепла жилыми зданиями и снижение эксплуатационных затрат на их содержание. Результатом таких исследований стало научное издание выпущенное в 1960 г. под руководством Л.А. Гельберга, Д.Л Броннера и др. [21].

Л.А. Гельберг, Ю.М. Кац в своём обзоре приводят сведения об объёмно-планировочных решениях жилых домов: этажность, габариты и конфигурация в плане, высота этажа, количество проёмов в наружных стенах, и оказываемом влиянии этих характеристик на уровень удельных теплопотерь здания. Например, уменьшение высоты этажа жилого дома, приводит к снижению тепловых потерь через наружные стены, но при этом неизменными остаются теплопотери через горизонтальные ограждающие конструкции [31].

В трудах авторов Полонского В.Н., Трутневой М.С. приводятся оценки разных специалистов о том, что масштабы энергосбережения составляют не менее 1/3 нынешнего потребления топливно-энергетических ресурсов [153]. В настоящее время в РФ потребление энергоресурсов составляет 1200-1300 млн. т. усл. топлива. При этом, по одним оценкам на нужды теплоснабжения (отопление, вентиляция, горячее водоснабжение, кондиционирование) расходуется 500-600 млн. т. у.т [153], по другим 360 млн. т.у.т. в год, что составляет около 30 % годового потребления ТЭР (топливно-энергетических ресурсов) в России [149]. Однако, по мнению ряда авторов на эти нужды требуется не более 180-200 млн. т. у. т., оставшееся является потенциалом энергосбережения [108].

Стоит отметить, что повышение энергоэффективности здания не может происходить за счёт ухудшения качеств микроклимата помещений [51, 104].

В связи с этим, ведущей организацией в области строительной физики (НИИСФ РААСН) и рядом крупных специалистов были разработаны нормативные документы

в развитие существующих [180], направленные на повышение тепловой защиты зданий [43, 42, 178, 180, 181, 183, 184, 186, 187, 189, 193].

Вместе с тем, стоит отметить, что для целого ряда неоднородных ограждающих конструкций были разработаны инженерные методики расчёта, включающие также разработку различных подходов математического моделирования температурно-влажностного режима ограждающих конструкций сформулированные Гагариным В.Г. [30], Козловым В.В. [82], Тишнер-Егоровой Т.-Э. А. [204] и нашедшие отражение в отечественных нормах [45, 186,187].

Данное направление нашло развитие в работах Козлова В.В., Умняковой Н.П., Андрейцевой К.С. и др., в которых представлена инженерная методика расчёта теплотехнических показателей балконного узла [7, 82, 209]. В предлагаемой методике реализуется возможность определения минимальной температуры на внутренней поверхности балконного узла и нахождения удельных потерь теплоты как для одно-, так и многослойных ограждающих конструкций стен [7, 209].

Однако, в рассматриваемых работах [7, 82, 204, 209,] отсутствуют сведения о проводимых натурных экспериментах эксплуатируемых зданий, результаты и анализ выполненных расчётов по определению удельных потерь теплоты исследуемых ограждающих конструкций представлены не в полной мере.

Данные документы показывают стремительные процессы изменений требований в сторону их ужесточения и связаны с введением новых показателей энергетической эффективности зданий, например: удельной потребностью в тепловой энергии на отопление; установлением классификации зданий и правилами оценки по показателям энергетической эффективности.

Во исполнении Федерального закона РФ № 28-ФЗ от 3 апреля 1996 г. «Об энергосбережении» [63], перечисленные выше нормативные документы во многом сохранили предшествующую нормативную базу и гармонизировались с европейскими нормами [239, 240]. Тем самым обеспечив необходимый уровень потребности в полезной тепловой энергии и предоставляя широкие возможности всем участникам стройиндустрии в выборе способов реализации требований норм и выработке технических решений.

Энергозатраты на отопление зданий во времена СССР были в 2-3 раза выше, чем в иностранных государствах со схожими климатическими параметрами. Подобное рас-

хождение объясняется неэффективным отношением к коммерческим источникам энергии (каменный уголь, газ, нефть и т.д.), большими запасами энергоресурсов и их стоимостью в нашей стране [55, 126, 165, 201, 228].

В строительной сфере соблюдение норм даёт возможность разработать проектные решения зданий гражданского назначения с оптимальным использованием энергии. Заложенные принципы [186,187193,] реализуются за счёт таких архитектурных и инженерно-строительных решений, при которых суммарное действие в энергосбережении здания достигаются поэлементно и позволяют экономить энергетические ресурсы.

В этих нормах [186,187, 193] впервые установлена взаимосвязь между теплозащитой здания, рассматриваемой как оболочка и работой систем отопления, вентиляции и теплоснабжения, представляющие собой единую энергетическую систему.

В конце 1990-х начале 2000 гг. для целого ряда субъектов Российской Федерации были разработаны и введены в действие территориальные строительные нормы (ТСН), например [205, 206, 207]. Их введение стало обязательным к исполнению сопричастных лиц, осуществляющих строительную деятельность. Особенностью ТСН стали следующие моменты: составление энергетического паспорта здания, детализация климатических параметров и выполнение для некоторых регионов климатического районирования, разработка показателей градусо-суток отопительного периода и величины солнечной радиации при действительных условиях облачности за отопительный период.

В последующие года, в развитии этих документов были разработаны стандарты организации и методические документы для оценки энергетической эффективности жилых и общественных зданий, например [121, 154, 160, 197].

По мнению авторов статьи [94] в СНиП 23-02-03 «Тепловая защита зданий», на снижение эксплуатационных качеств влияют такие физико-экономические причины, как искажение результатов инновационных подходов при создании объёмно-планировочных решений зданий и соответствующих инженерных систем функционирования микроклимата помещений с заданными параметрами.

Практическая реализация изложенного в СНиП 23-02-03 «Тепловая защита зданий» подхода, как правило, обеспечивается только путём применения различных эффективных утеплителей, например: пенополистирольных, минераловатных, базальтовых плит и других.

В свете вышесказанного можно отметить принятие ряда законов на федеральном уровне, например, ФЗ РФ от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [214], в котором один из разделов напрямую увязывается с энергоэффективностью зданий и сооружений.

Принятие новых законов и ужесточение целого ряда национальных стандартов в отношении теплозащиты, в области нового строительства, по мнению Малафеева Е.Д. и Альметова Ф.М, дают экономию топлива всего лишь около 0,1 % [100].

Ананьев А.И. в автореферате указывает на определённые недоработки в СНиП II-3-79*, которые не учитывают теплофизические параметры для целого ряда штучных бетонных стеновых материалов [5]. Рассуждения и сравнительный анализ о достоинствах и недостатках нормативной базы также можно проследить по публикациям ряда специалистов в области строительной физики, например: Гагарина В.Г, Малявиной Е.Г., Матросова Ю.А. [29, 102, 108].

Проводимые Дмитриевым А.Н., многолетние наблюдения за эксплуатационными характеристиками жилых домов массовых серий, построенных по типовым проектам, выявили причины отставания в области энергосбережения от мировых стандартов. Им предложены различные варианты стратегии по повышению тепловой защиты в гражданском строительстве, где основной упор делается на ужесточении существующих на тот момент нормативных требований в области строительной теплотехники [56].

Схожие вопросы с позиции экономических аспектов подробно рассмотрены в трудах Голованової Л.А. , на примере Хабаровского края [32, 33, 34, 35].

В данный момент, наиболее перспективным методом повышения теплозащитных качеств ограждающих конструкций – является применение лёгких бетонов, в состав которых входят вяжущие пониженной теплопроводности, а также пористые заполнители с аморфизированной структурой, например: шлаковая пемза, азерит. Использование выше указанных компонентов бетонной смеси позволяет снизить теплопроводность бетона на 25-30%, по сравнению с бетонами на пористых заполнителях с кристаллической структурой. Например, уменьшить теплопроводность бетона на 20 % можно при замене цемента гипсом [16].

Значительные тепловые потери через наружные стеновые ограждения характерны и для полносборных зданий. Так, например, в статье М.Д. Артемова изучен вопрос о

повышении теплотехнических качеств зданий из объёмных блоков [10]. Анализ проводимых натурных исследований показал, что рассматриваемые здания из объёмных блоков имеют низкие теплозащитные качества. Им было установлено, что приведённое сопротивление теплопередаче $R_0^{\text{пр}}$стен , существенно зависит от площади теплопроводных включений - стальных деталей стеновых панелей и от высокой воздухопроницаемости окон. Автором ставится задача оптимизации параметров перфорированных ограждающих конструкций с теплопроводными включениями [10].

Для наружных стен блочных и панельных зданий, имеющих теплопроводные включения и воздухопроницаемые стыки, нормируемый уровень теплоизоляции только в 1986 году был достигнут наравне с уровнем кирпичных стен, путём введения повышающих коэффициентов на сопротивление теплопередаче от 1,18 $\frac{\text{м}^2 \cdot {}^0\text{C}}{\text{Вт}}$ до 1,82 $\frac{\text{м}^2 \cdot {}^0\text{C}}{\text{Вт}}$ [94,164].

Стоит отметить, что низкий контроль по отпуску тепловой энергии и отсутствие инженерного оборудования по учёту и регулированию тепла поступающего в дома, приводило к дополнительным энергозатратам на содержание жилого фонда. Все эти факторы учитывались в расчётах фактического удельного энергопотребления на отопление зданий [19,20].

Изменения № 3 к СНиП II-3 –79* были обусловлены недостаточным уровнем теплозащитных качеств ограждающих конструкций, в частности для наружных стеновых ограждений, так например, начиная с 1995 г. его повысили в 3-3,5 раза [66], [94].

Выполненные авторским коллективом [4] расчёты по разработанной методике [189] показывают, что значительное снижение удельного расхода тепловой энергии на отопление зданий осуществляется за счёт избыточной функции бытовых тепловыделений, теплопоступлений через светопрозрачные ограждения от солнечной радиации и снижения кратности воздухообмена в отопительный период года, а не путём обеспечения более высоких теплозащитных качеств теплозащитной оболочки здания.

Анализируя результаты тепловизионной диагностики проводимых Гурьяновым Н.С. [55] и Михеевым Д.А. [116], можно сделать вывод о несоответствии проектных и фактических величин приведённого сопротивления теплопередаче $R_0^{\text{пр}}$ наружных стен определяемых с учётом нормативных требований к теплозащите,

что в большей степени связано с некорректным нормированием числовых значений теплопроводности λ теплоизоляционных материалов. Авторами особо выделяется то, что для наружных стеновых ограждений, значения теплопроводности λ проектировщиками определено в диапазоне от $0{,}03\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot{}^{\circ}\text{С}}$ до $0{,}033\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot{}^{\circ}\text{С}}$, в то время как фактические значения лежат в пределах от $0{,}05\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot{}^{\circ}\text{С}}$ до $0{,}06\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot{}^{\circ}\text{С}}$.

В трудах Киселёва И.Я [75] дан анализ результатов проводимого международного межлабораторного исследования измерений теплопроводности теплоизоляционных материалов и изделий. В данном исследовании приняли участие 8 лабораторий России, США, Канады, Финляндии и Литвы. В ходе выполнения сопоставительного анализа результатов измерений была зафиксирована систематическая ошибка в плюс 15%, возникшая при измерении теплопроводности этих материалов и изделий отечественными приборами. Позже были выявлены и устранены причины этой ошибки. Киселёвым И.Я. были разработаны методы расчёта и измерения теплопроводности и сорбционных характеристик строительных эффективных теплоизоляционных волокнистых и ячеистых строительных материалов и изделий, с учётом их кондукционной и радиационной составляющих. Полученные Киселёвым И.Я. уравнения [75,76] демонстрируют, что в значительной степени теплопроводность зависит от плотности материала при малых значениях плотности материала. Им также было установлено, что теплопроводность линейно увеличивается с увеличением диаметра волокон или пор; зависимость теплопроводности от температуры увеличивается с уменьшением плотности материала и с повышением температуры; наибольший вклад в теплопроводность вносит её кондукционная составляющая; значение радиационной составляющей существенно только при малых плотностях материала и высоких температурах.

В целях создания комфортных условий проживания и повышения теплофизических качеств ограждающих конструкций, много исследований было направлено на изучение реакций человека на тепловую среду с учётом различных климатологических особенностей [106], включающие благоприятный микроклимат и воздушную среду жилых и общественных зданий [18], разработку конструктивных решений с учётом климатического фактора. В научный оборот был также введён такой термин,

как гигиеническая оценка комфортности помещения. Данное понятие нашло отражение в работах Богословского В.Н. [19,20].

Нормирование параметров микроклимата позволяет систематизировать информацию для различных видов деятельности человека с учётом функциональных особенностей помещений и обеспечивает сохранение здоровья и работоспособности людей. Такой подход нашёл отражение в работе Малявиной Е.Г. [103] и нормативно-технических документах [38, 48, 49, 40, 41, 43, 46, 109, 167, 195]. В структуре этих документов также учтены современные теплотехнические требования к ограждающим конструкциям зданий и системам отопления и вентиляции [189,193,186,187,179,195].

Основу существующего метода расчёта при составлении раздела проектной документации по определению энергоэффективности зданий составляет вычисление приведённого сопротивления теплопередаче [187, 193]. Его реализация предусматривает рассмотрение фрагмента здания как структуру, в состав которой входят отдельные элементы, представляющие собой независимые теплотехнические неоднородности. Теоретические предпосылки данного метода вошли состав нормативных документов, например, в СП 50.13330 и СП 230.1325800 [193,187] и были сформулированы Гагариным В.Г и Козловым В.В. [26,27].

Таким образом, современные подходы позволяют учитывать теплотехнические неоднородности отдельных фрагментов ограждающих конструкций, входящих в состав теплозащитной оболочки здания. В СП 230.1325800 [186,187] в табличной форме даны значения с удельными потерями теплоты для структурных частей здания (фрагментов) и различных типов ограждающих конструкций.

Реализуемый метод нашёл широкое применение в проектной практике строительства. Однако, появление инноваций в области строительства, включающие технологии, типы ограждающих конструкций, строительные материалы, детали, отдельные узловые соединения и т.д., как правило выходят из-под действия существующей нормативной базы. Данный фактор требует дополнительного изучения их эксплуатационных качеств в реальных условиях и проведения численных исследований методами математического моделирования для существующих и модифицированных типов ограждающих конструкций, включающие узлы сопряжения диска перекрытия со стеной.

1.3 Описание и анализ существующих конструктивных решений монолитных зданий

На территории Российской Федерации, по данным федеральной службы государственной статистики, доля зданий, возведённых в период с 2009 г. по 2020 г. по монолитной технологии составляет 16 % [212], от общего количества зданий, выполненных из иных ограждающих конструкций, показанные на рисунке 1.1[1]. На рисунке 1.2[2] представлена диаграмма с положительной динамикой, характеризующая ежегодное увеличение доли строительства зданий монолитной конструкции во всех регионах России [212].

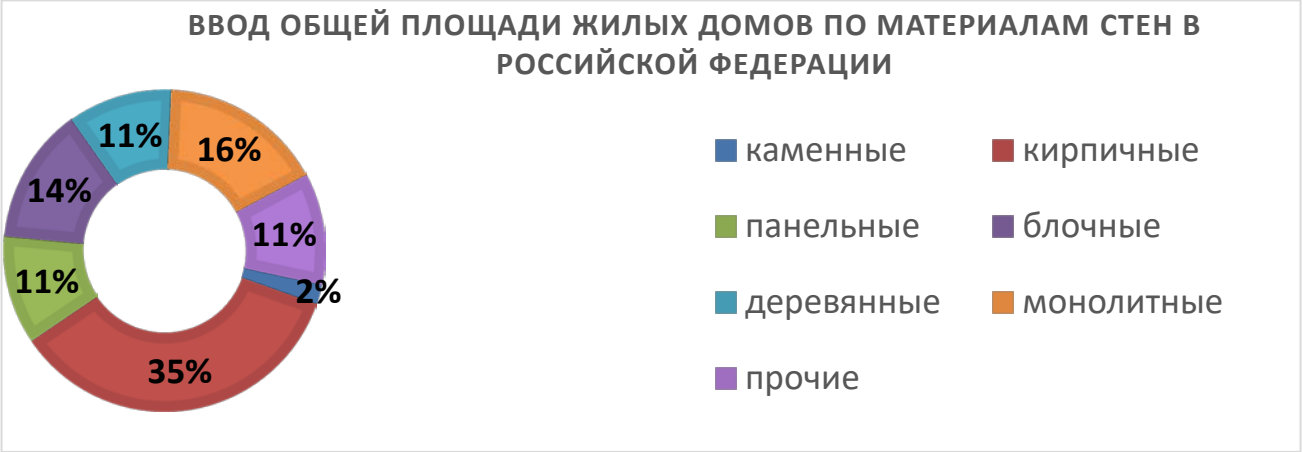


Рисунок 1.1 – Ввод общей площади жилых домов по материалам стен

Массовое распространение зданий, возводимых по монолитной технологии, стало возможным благодаря вариабельности планировочной структуры, разнообразию архитектурно-строительных решений и в ряде случаев обусловлено экономической целесообразностью. Стоит отметить также и такое понятие, как жизненный цикл здания, определение которого закреплено в СП 333.1325800.2020 [191]. Анализ и критериальные оценки, позволяющие выявить степень технического состояния и эксплуатационных качеств здания, рассмотрены в работах Соколова В.А. и Немовой Д.В. и др. [182, 122]. Однако, в проводимых исследованиях отсутствует аргументированное обоснование, дающее представление о вносимом информационном вкладе ограждающей конструкции или её фрагменте в техническое состояние всей оболочки здания, выполненного по монолитной конструктивной системе, с учётом его эксплуатационных качеств.

[1,2] – по данным Росстат — Поиск (rosstat.gov.ru)

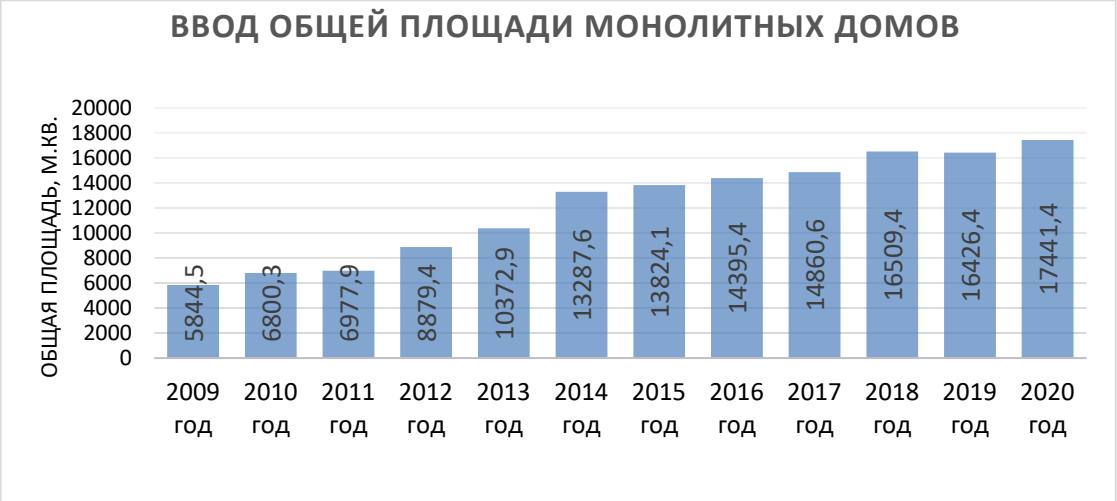


Рисунок 1.2 – Общая площадь вводимых в эксплуатацию монолитных зданий за период 2009-2020 гг. (по данным Федеральной службы государственной статистики)

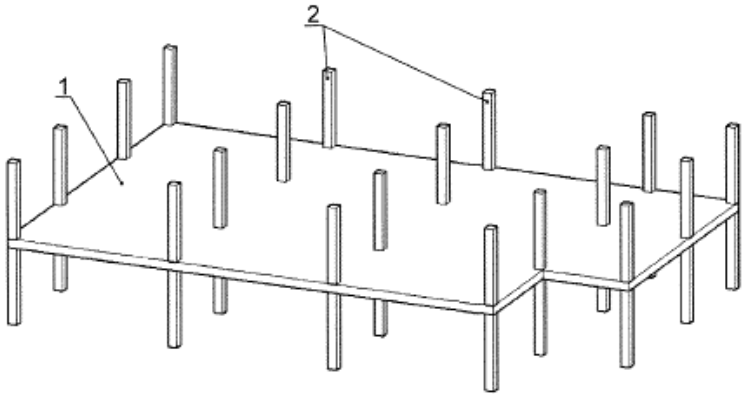
Описание существующей классификации конструктивных систем имеется во многих нормативных документах и в технической литературе, например [155, 156, 192]. Рассматриваемые в диссертации конструктивные системы и здания, возведённые по монолитной технологии в некоторых литературных источниках именуются как монолитно-кирпичные (кирпично-монолитные) [117].

На сегодняшний день, обозначенный подход в СП 430.1325800.2018 [192] позволяет структурировать конструктивные элементы здания по функциональному назначению на несущие и ограждающие конструкции.

Наибольшее распространение получила конструкция стен, имеющая поэтажное опирание на монолитный диск перекрытий, с последующей наружной отделкой кирпичом.

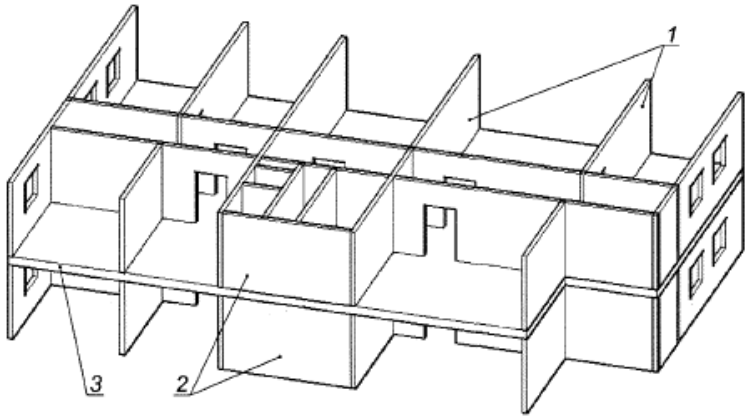
Конструктивные системы зданий гражданского назначения классифицируются по шести основным признакам: каркасные, стеновые, объёмно-блочные, ствольные, оболочковые и комбинированные [99].

Конструктивные схемы зданий подразделяются: с несущими продольными и поперечными стенами, с неполным и полным каркасом, с продольно-поперечным расположением стен, смешанные (комбинированные) [22]. Для монолитных зданий выделяют следующие типы конструктивных систем: каркасная, стеновая и смешанная [192]. Указанные типы представлены на рисунках 1.3-1.5.



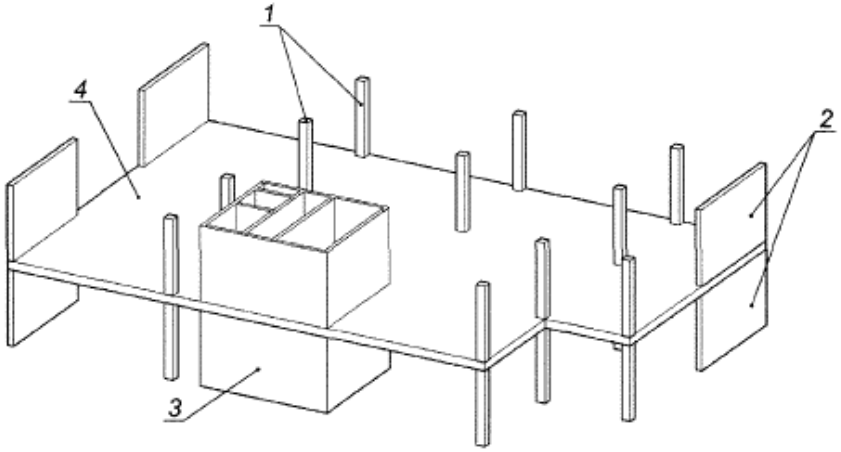
1- плита перекрытия; 2- колонны

Рисунок 1.3– Каркасная конструктивная система[3]



1-стены; 2- ядро жесткости; 2- плита перекрытия

Рисунок 1.4 – Стеновая конструктивная система[4]



1 - колонны; 2 - стены; 3 - ядро жесткости; 4 - плита перекрытия

Рисунок 1.5 – Смешанная конструктивная система[5]

[3] Соответствует п. 5.1.2, рисунку 5.1 СП 430.1325800.2018 Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования (с Изменением N 1)

[4] Соответствует п. 5.1.2, рисунку 5.2 СП 430.1325800.2018 Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования (с Изменением N 1)

[5]Соответствует п. 5.1.2, рисунку 5.3 СП 430.1325800.2018 Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования (с Изменением N 1)

Основной объём возводимых зданий для гражданского строительства выполняется по монолитной технологии. На рисунке 1.6 а) представлено здание построенное по каркасной системе. На рисунках 1.6 б), в) представлены фотографии жилых домов со стеновой конструктивной системой, в которой система взаимосвязанных горизонтальных и вертикальных несущих элементов здания обеспечивается по перекрёстно-стеновой конструктивной схеме.

а)

б)

в)

а) каркасная конструктивная система; б) перекрёстно-стеновая конструктивная схема с поэтажно-опёртыми наружными ограждениями; в) перекрёстно-стеновая конструктивная схема навесными стенами

Рисунок 1.6 – Варианты исполнения конструктивных решений монолитных зданий

Один из возможных вариантов планировки жилого дома, выполненного по перекрёстно-стеновой конструктивной схеме показан на рисунке 1.7.

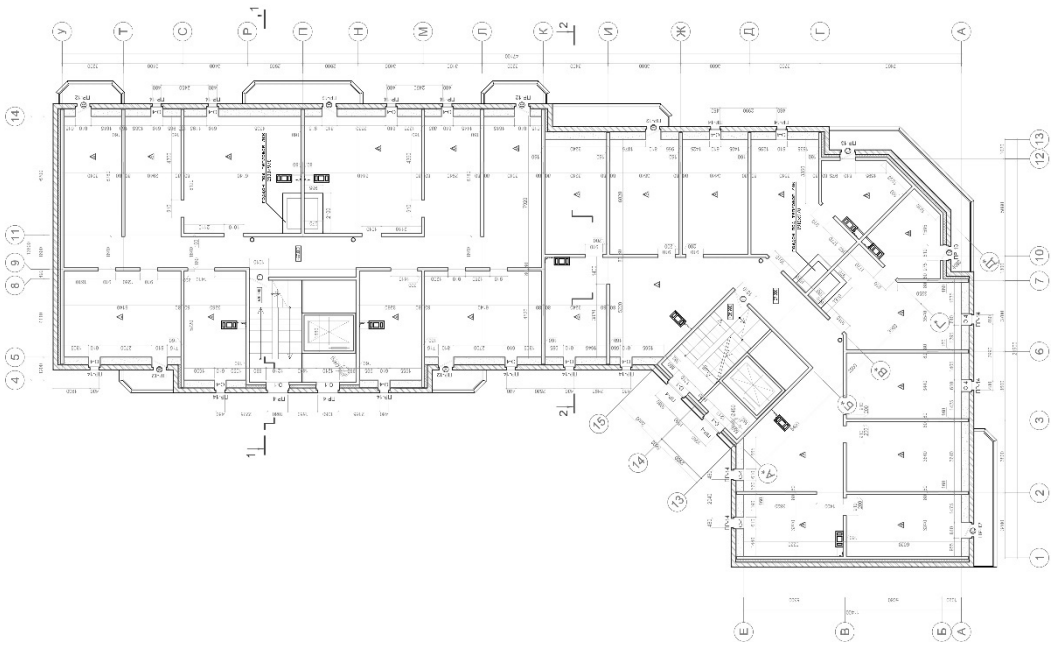


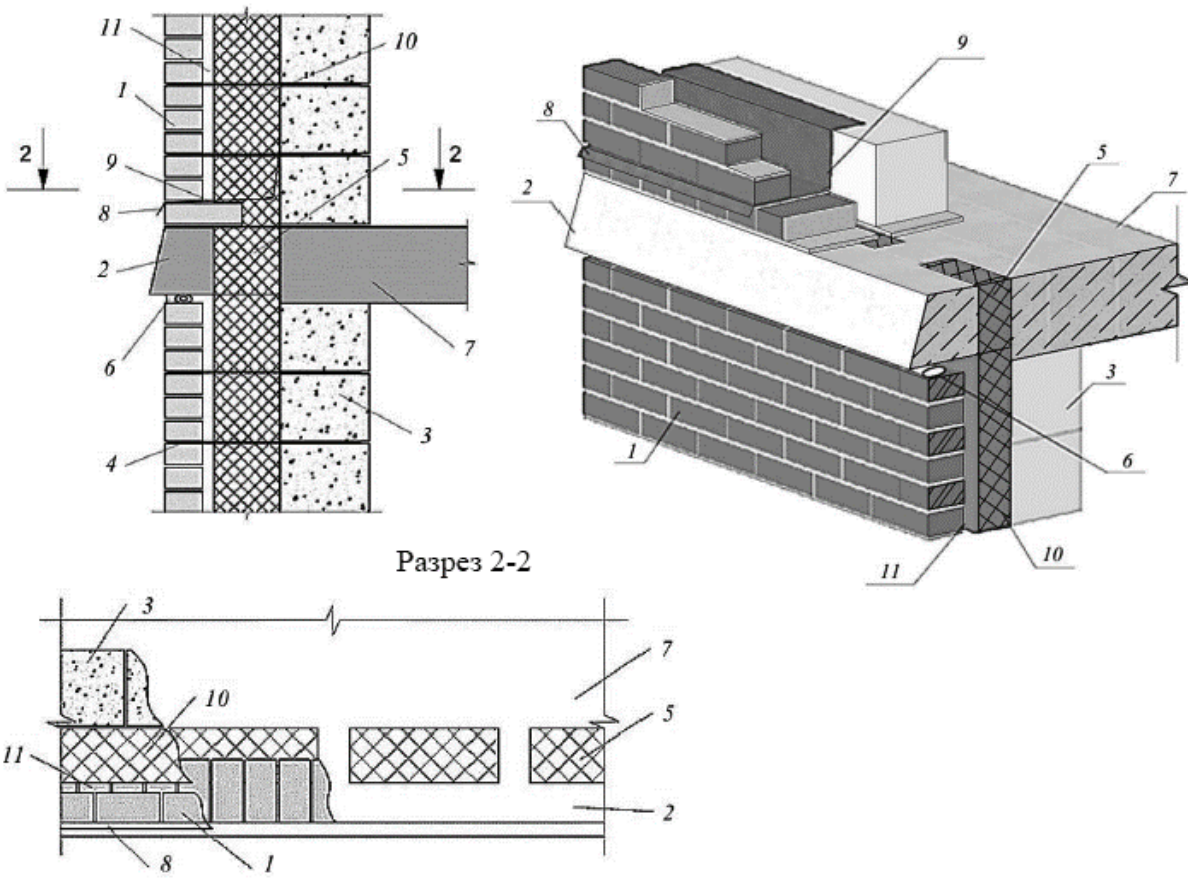
Рисунок 1.7 – Объемно-планировочное решение жилого дома, выполненного по перекрёстно-стеновой конструктивной схеме

Подробное описание энергоэффективных наружных стен с облицовкой кирпичом толщиной 250 мм широко представлены в Московском территориальном строительном каталоге [120].

В нормативных документах [190, 198] и в работах авторов – М.К. Ищука, Р.Б. Орловича С.С. Зимина, А.М. Берегового и А.П. Михеева. [71, 128,65,17,115] приводится информация о правилах проектирования, эксплуатации и инженерных методах расчёта наружных ограждений с лицевым кирпичным слоем. На рисунке 1.8 приводится один из примеров выполнения наружной трёхслойной стены с лицевым слоем, опирающимся на плиту перекрытия, рекомендации по применению этого способа приводится в п. 8.7 СП 327.1325800.2017 [190].

В работах Васильева В.Д., Шарбабчева Г.С., Шварца М.А. имеются предложения по совершенствованию рассматриваемых типов ограждающих конструкций. В их работах описываются способы изготовления конструкции многоэтажного строения, где перфорацию (заливочные отверстия) плиты перекрытия предлагается выполнять в шахматном порядке с последующей укладкой бетона, обладающего

теплоизолирующими свойствами [169]. Конструкция стены для данного случая состоит из внешних и внутреннего слоёв, представленных соответственно мелкоразмерными элементами (например, кирпич) и теплоизолирующим пенобетоном [169,168].



1 - лицевой слой; 2 - консоль плиты со скошенным торцом; 3 - внутренний слой; 4 - горизонтальные гибкие связи; 5 - термовкладыш; 6 - горизонтальный деформационный шов; 7 - монолитная железобетонная плита перекрытия; 8 - отлив из металлопластика; 9 - гидроизоляция; 10 - утеплитель; 11 - воздушная прослойка

Рисунок 1.8 – Наружные трехслойные стены с лицевым слоем, опирающимся на плиту перекрытия[6]

Многовариантность исполнения рассматриваемых ниже узлов сопряжения диска перекрытия с наружными ограждающими конструкциями, заключается в том числе и в существующем многообразии конструктивных систем. На рисунке

[6] Соответствует п. 8.7, рисунку 8.5, СП 327.1325800.2017 Стены наружные с лицевым кирпичным слоем. Правила проектирования, эксплуатации и ремонта (с Изменением N 1)

1.9 представлен фрагмент схемы армирования диска перекрытия с устройством перфорации под термовкладыши.

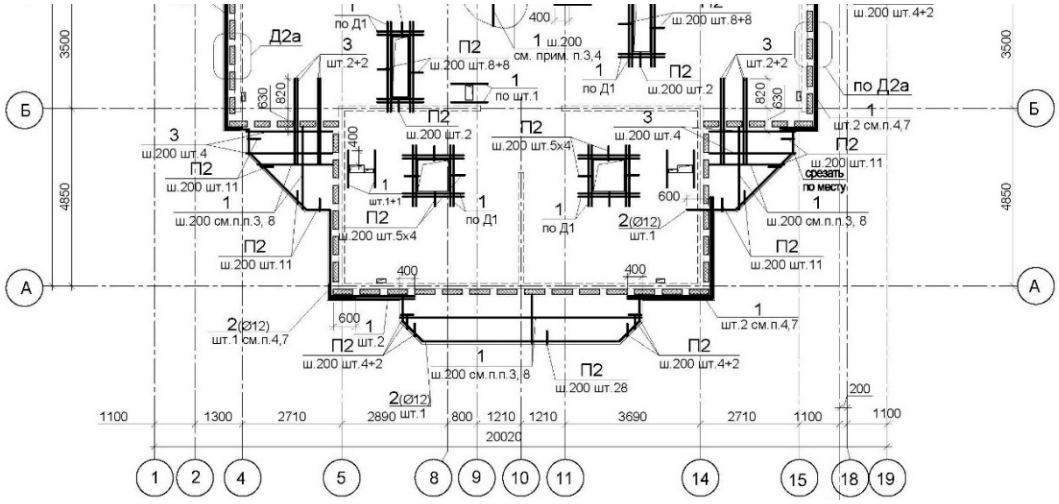


Рисунок 1.9 – Фрагмент схемы армирования диска перекрытия с устройством перфорации под термовкладыши

Ниже приводится типология узлов сопряжений диска перекрытия с ограждающими конструкциями монолитных зданий. Подобное описание даёт возможность провести более чёткую классификацию и обозначить критерии выбора конструктивных узлов с теплотехнической точки зрения ещё на стадии проектирования. Такой подход стал возможен благодаря введению СП 230.1325800.2015 [186]. Этот нормативный документ на сегодняшний момент является единственным инструментом, регулирующим в теплотехническом отношении вариативность шага перфорации в диске перекрытия под устройство термовкладышей. На рисунке 1.10 представлены геометрические параметры диска перекрытия, включающие длину отверстия –a, ширину d_t и шаг перфорации b.

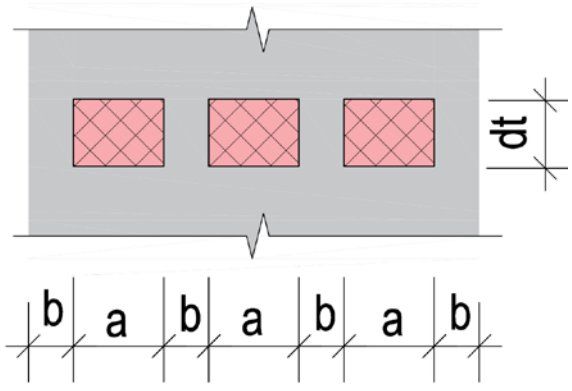


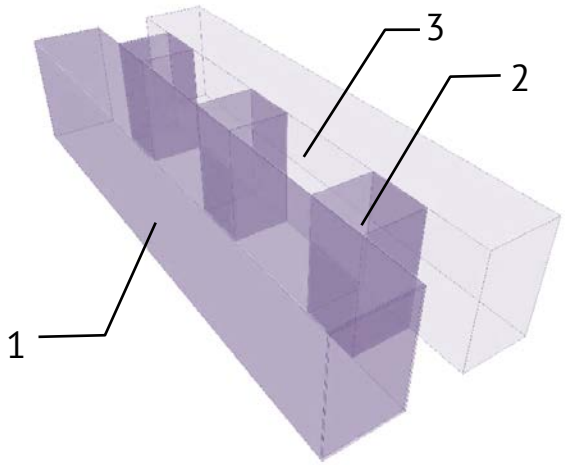
Рисунок 1.10 – Схема размещения перфорации диска перекрытия

Диапазон отношения длины термовкладыша «a» к расстоянию между ними «b» устанавливается в таком соотношении a/b, при котором «a» принимается равным от 1 до 5 [187,202]. При этом, под расстоянием «b» будем также понимать ширину шпоночного соединения. Указанные варианты такого соотношения представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Варианты устройства перфорации монолитного диска перекрытия при соотношении a/b= 1/1; 2/1;3/1;4/1;5/1

a/b	1/1	2/1	3/1	4/1	5/1
Вариант 1					
a	100	200	300	400	500
b	100	100	100	100	100
Вариант 2					
a	150	300	450	600	750
b	150	150	150	150	150

На рисунке 1.11 представлен типовой фрагмент диска перекрытия, который для удобства можно разбить на следующие элементы: торцевой диск, шпонки, перфорация.



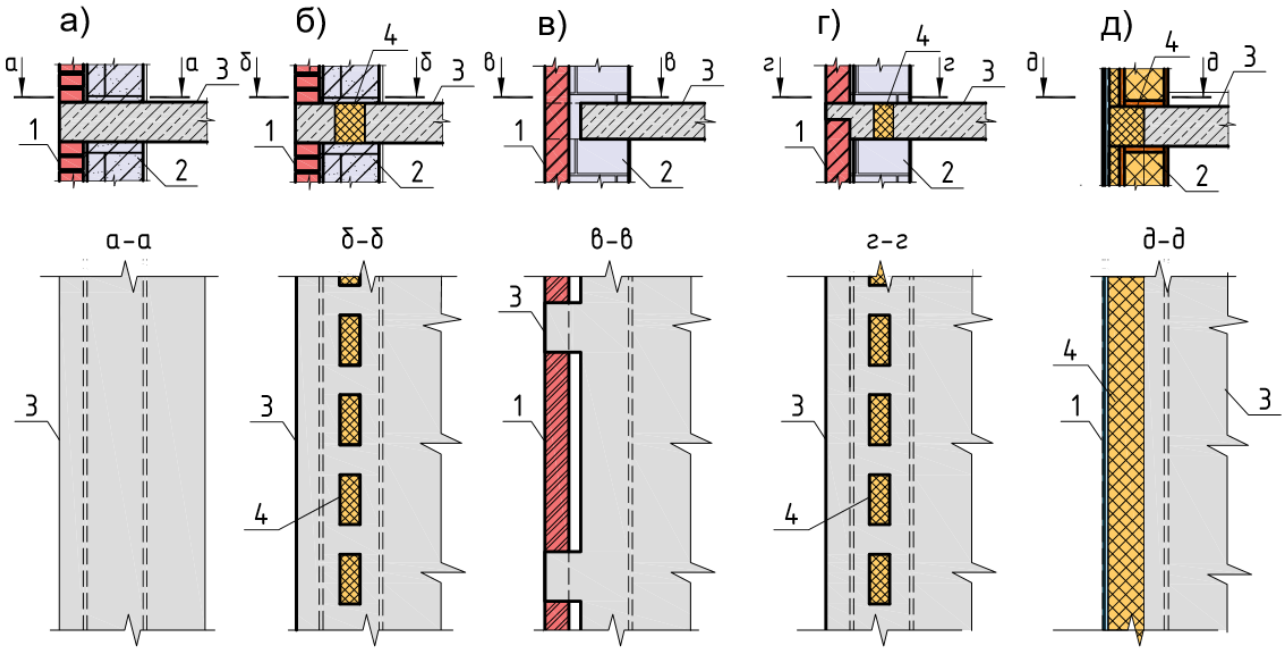
1-торцевой брус; 2- шпонки; 3- перфорация

Рисунок 1.11– Схема расположения фрагмента диска перекрытия

Применение перфорации предусматривается для укладки термовкладышей из экструдированного пенополистирола, в целях снижения влияния «мостика холода» на параметры микроклимата помещений. Причём, в целях недопущения промерзания несущих конструкций, геометрическое расположение слоя термовкладыша в перфорации железобетонного диска перекрытия должно быть совмещено со слоем утеплителя в стене [211]. Подобный подход нашёл применение как при устройстве монолитных плит перекрытий, так и балконных, что было рассмотрено рядом авторов с позиции

теплофизической проблематики [211, 210], а также при анализе ситуации, связанной с напряжённо-деформированным состоянием рассматриваемых конструктивных решений [234].

На рисунке 1.12 рассмотрены основные типы узлов сопряжения диска перекрытия с наружными ограждающими конструкциями, встречающиеся в строительной практике Санкт-Петербурга. Устройство наружных ограждений в соответствии с рисунком 1.12 а), б), в), г), д) выполняют поэтажно-опёртым на перекрытия здания, для варианта д) предусматривается также вариант, когда стеновые панели являются навесными. [3, 221].



а)) перекрытие без утеплителя (тип-1); б) перекрытие с перфорацией (тип-2);
в)перекрытие с консольными выпусками (тип-3); г) перекрытия с подрезкой в виде «зуба» (тип-4);
д) перекрытие с внешним теплоизоляционным слоем (тип-5).

Рисунок 1.12 –Типология узлов сопряжения диска перекрытия со стеной

Представленная на рисунке 1.12 типология отображает сложившуюся практику проектирования и строительства зданий, возводимых по монолитной технологии на территории Российской Федерации.

Отдельные технологические этапы устройства диска перекрытия с перфорацией под термовкладыши, наружной кладки с опорой на консольные выпуски перекрытия, внутреннего слоя наружной стены показаны соответственно на рисунках 1.13, 1.14, 1.15.

Рисунок 1.13 – Устройство диска перекрытия с перфорацией под термовкладыши

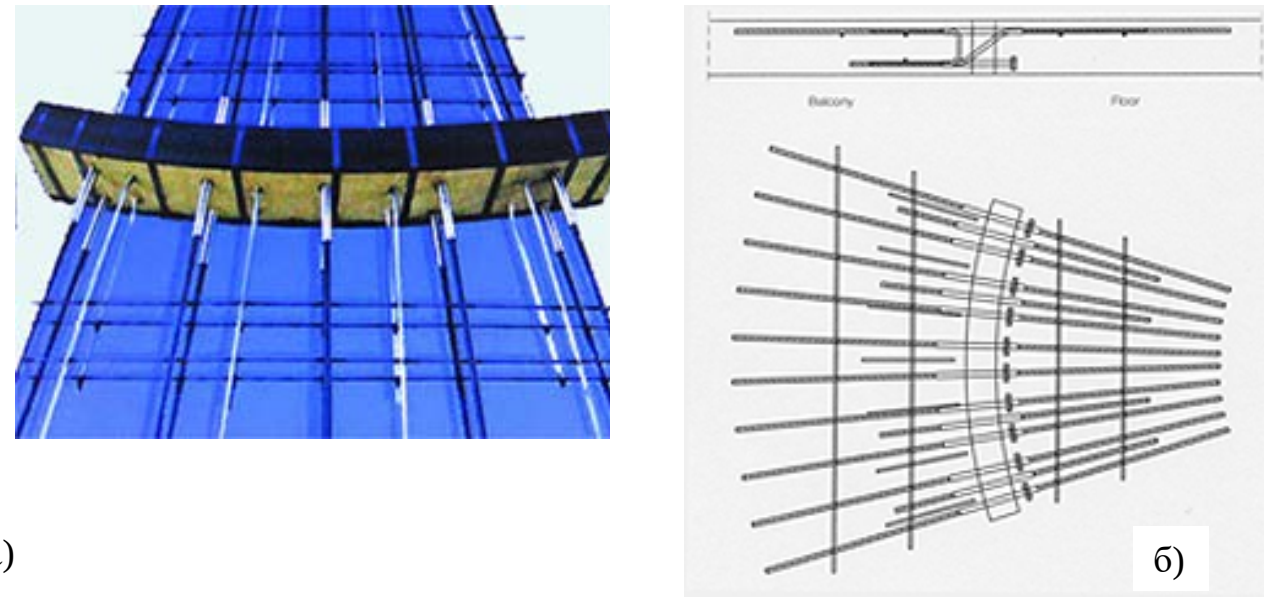
Рисунок 1.14 –Устройство наружной кладки из кирпича с опиранием на консольные выпуски диска перекрытия

а) опалубка из металлокаркаса с обшивкой двумя слоями гипсокартонных волокнистых листов (ГКВЛ); б) внутренний теплоизоляционный слой (пенобетон) наружного ограждения

Рисунок 1.15 – Технология устройства металлокаркаса с обшивкой из ГКВЛ под укладку пенобетонной смеси

Наиболее уязвимой зоной, в теплотехническом отношении, является место сопряжения диска перекрытия с перфорацией под термовкладыши с наружными ограждающими конструкциями, включая и случаи их соединений с балконными плитами [6]. Наличие перфорации в таких узловых соединениях, включающие элементы в виде торцевого бруса (балконной плиты) и соединительных шпонок являются мостиками холода.

В зарубежной практике строительства подобного рода конструктивные решения, не применяются. Вместо этого, начиная с 1997 г. активно используется разработка немецких компаний, например MaxFrank & Co. Их вариант конструкции позволяет предотвратить образование мостика холода в перекрытиях зданий, обустроенные лоджиями или балконами [237]. На рисунке 1.16 показан способ крепления утеплителя в толщу ограждающей конструкции. В целях сокращения влияния мостика холода, в состав арматуры соединительных элементов конструкции входит теплоизоляционный материал, который крепится при помощи специального элемента Eurobox.



а) Общий вид системы Eurobox; б) Схема расположения соединительных элементов Eurobox

Рисунок 1.16 – Способ крепления соединительных элементов и теплоизоляции по системе Eurobox

Другие схожие варианты конструктивных решений, известные по патентам [132,135], правообладателем которых является немецкая фирма SCHOCK BAUTEILE GMBH, на отечественном строительном рынке, к настоящему моменту, имеют ограниченный характер, ввиду дороговизны предлагаемых решений. Некоторые из этих вариантов представлены на рисунке 1.17.

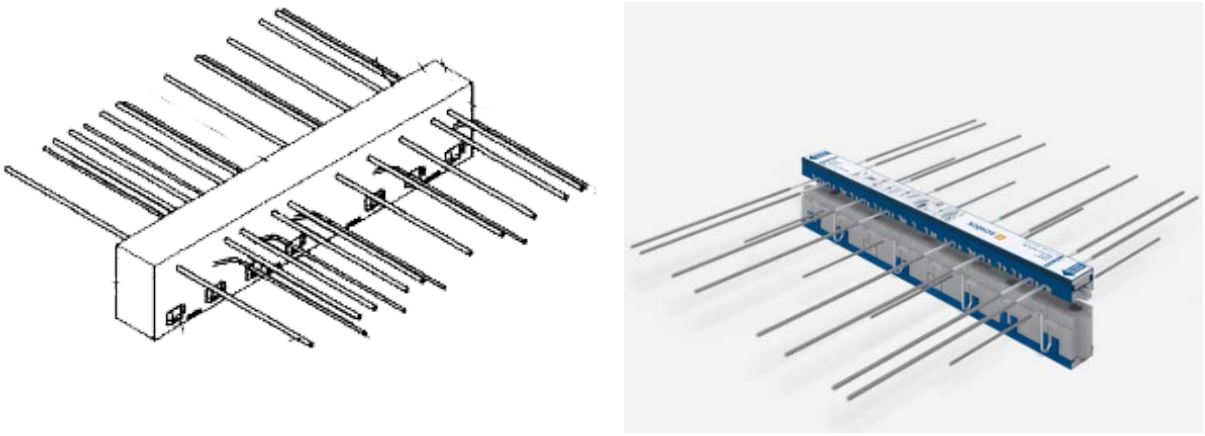


Рисунок 1.17 – Несущий конструктивный элемент Schöck isocorb

Конструктивные решения, проиллюстрированные на рисунках 1.16-1.17, позволяют обеспечить конструктивную устойчивость диска перекрытия и консольных частей здания – балконных плит, а также достичь оптимальных параметров микроклимата помещений.

В целях минимизации влияния мостика холода для конструктивных решений узлов сопряжения диска перекрытия со стеной также имеются и зарубежные разработки, например [131, 134, 133]. Основу этих модификаций, в том числе, составляют научно-технические подходы, рассмотренные в трудах [208,58,83,245].

Основная идея этих решений заключается в создании несущих теплоизоляционных элементов (НТЭ), в которых арматурные стержни соединены друг с другом при помощи стальной втулки, внутри которой предусмотрена резьба. Во внутренний кольцевой зазор между втулкой и арматурой нагнетается эпоксидная смола, для защиты металлических элементов от коррозии. Место соединений этих втулок защищено теплоизоляционным материалом. Такое решение обеспечивает необходимую жёсткость и устойчивость конструкции и позволяет достичь бóльшей теплотехнической однородности. Совокупность этих факторов препятствует образованию конденсата на поверхностях со стороны помещения, благодаря тому, что температуры на внутренних гранях ограждающих конструкций выше температуры точки росы [89,90,91]. Однако, в ряде стран массовое применение таких конструктивных решений ограничено экономическими факторами.

В настоящий момент существуют и другие способы выполнения узлов сопряжения диска перекрытия со стеной в монолитных зданиях, например, разработки белорусских учёных (БелНИИ) были положены в основу серии Б1.20.1-7 [203, 118, 136, 137, 138, 139, 119]. Варианты узлов для сборно-монолитного каркаса, где ограждающая конструкция выполняется в виде поэтажно опертых наружных стен и внутренних перегородок размещаемых в любом требуемом месте диска перекрытия [157, 161,4]. Представленные проектные предложения, наряду с архитектурными и конструктивными достоинствами, не лишены и ряда недостатков, в том числе связанных и с обеспечением нормируемых показателей по тепловой защите зданий.

1.4 Дефекты и повреждения узлов сопряжения диска перекрытия с наружными ограждающими конструкциями

Исследования о характере повреждений железобетонных конструкций на напряжённо-деформированное состояние с учётом температурно-климатических воздействий проводились многими учёными [1,14,114].

В рассматриваемых вариантах узлов сопряжения диска перекрытия со стеновыми наружными ограждениями учёными Гроздовым В.Т., Ищуком М.К., Орловичем Р.Б., Зиминым С.С., Деркачем В.М. [52,70,72,129,64, 127] и др. авторами были сформулированы основные причины, приводящие к характерным дефектам и повреждениям:

– отступление от проектной документации при выполнении строительно-монтажных работ;

– некачественное исполнение горизонтальных швов внешнего слоя наружной кладки из кирпича;

– образование вертикальных, наклонных и горизонтальных трещин лицевого слоя кирпичной кладки, вызванные температурными деформациями.

Как правило, такие повреждения вызваны температурно-климатическими воздействиями, оказываемые на здание в течение всего срока эксплуатации. На стадии проектирования, как правило, в работе Ищука М.К. [72] было отмечено, что в «проводимых численных исследованиях напряжённо-деформированное состояние кладки лицевого слоя с гибкими связями плита перекрытия принимается в виде недеформируемого основания, не подверженного изменению температуры». Такое допущение, как недоучёт температурных деформаций диска перекрытия, возникающих во всех плоскостях стены приводит к тому, что перераспределение усилий между вертикальными и горизонтальными элементами конструкций учитывается некорректно.

В процессе эксплуатации монолитных зданий, в ряде случаев, в зоне контакта наружных ограждений с диском перекрытия были зафиксированы локальные и значительные повреждения лицевых слоёв выполненных из кирпича.

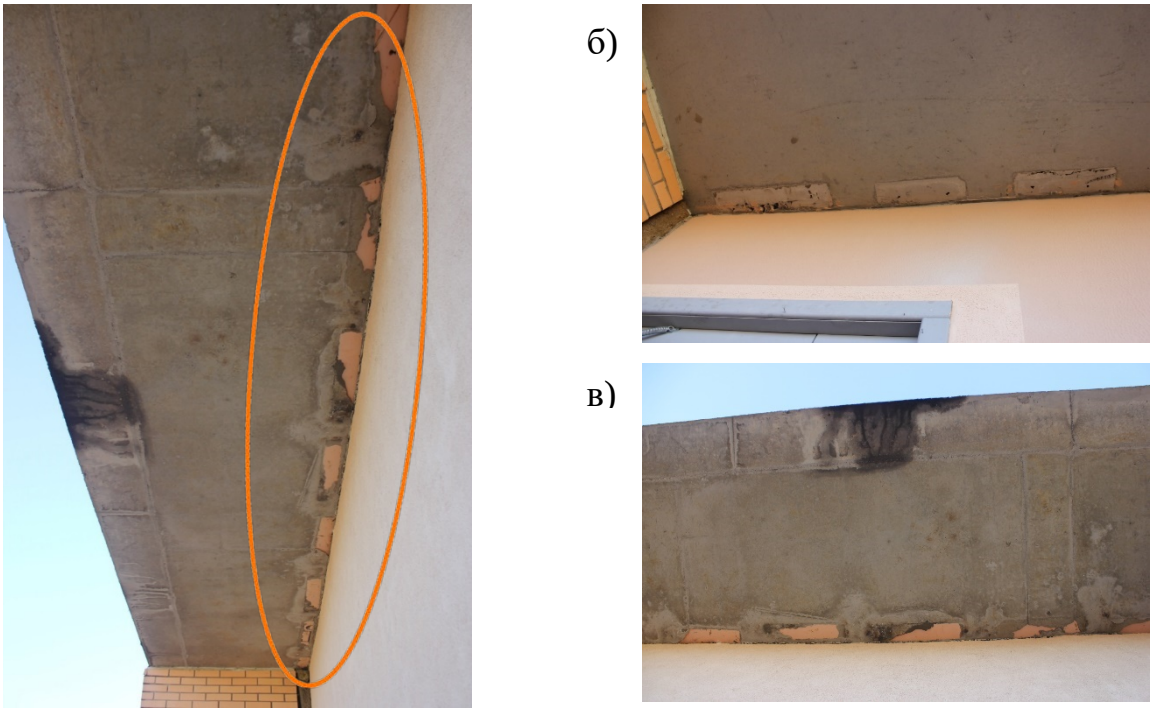
На рисунках 1.18 а), б) показаны такие варианты разрушений. Рисунок 1.18 в) свидетельствует о том, что лицевой слой выполнен из пустотного кирпича и величина свеса составляет более чем 10-15 мм.

а) б) в)

а) локальные разрушения лицевого слоя кирпичной кладки; б) полное обрушение лицевого слоя на фасаде; в) сверхнормативный консольный вынос лицевого слоя из пустотелого кирпича

Рисунок 1.18 – Деструкция и разрушения кирпичной кладки в зданиях монолитной конструкции

а) б) в)



а) фрагмент балконной плиты с перфорацией под термовкладыши;
б) фактическое размещение шага перфорации;
в) локальные повреждения диска перекрытия.

Рисунок 1.19– Фрагмент балконной плиты с перфорацией

Данный факт вступает в противоречие с требованиями, изложенными в п. 9.37, 9.38 СП 15.13330.2020 [184]. На рисунке 1.19 показан фрагмент устройства балконной плиты с перфорацией, заполненной термовкладышами.

В соответствии с требованиями раздела Г.3, СП 230.1325800 [187], перфорацию под термовкладыши необходимо устраивать таким образом, чтобы она совпадала со слоем теплоизоляции, размещаемого в толще наружной ограждающей конструкции. Как это видно из рисунка 1.19, данное требование на практике реализовано не было, что как правило, приводит к промерзанию стен. Также на поверхности балконной плиты были зафиксированы продольные трещины, в зоне формирования перфорации местами отсутствовал защитный слой бетона, шаг перфорации имел нерегулярный характер (см. рисунок 1.19 а), в)).

Рассматриваемые конструктивные решения с точки зрения строительной теплотехники весьма неоднозначны. Зачастую проблемы в таких зданиях кроются в неудовлетворительном поддержании в жилых помещениях санитарно-гигиенических требований, несоблюдении нормируемых требований в отношении перепада температур воздуха внутри помещения и горизонтальной поверхности диска перекрытия. В частности, с позиции физиологических реакций человеческого организма, в трудах Шафира А.И. было отмечено, что разница между температурой стопы и груди не должна превышать 4 ℃ и быть меньше 2 ℃ [222, 92 с.33]. Опосредовано, достижение этих величин реализуется нормируемым температурным перепадом между температурами внутри помещения и поверхностью пола (перекрытия) 2 °С, что отмечено в таблице 5.29 СанПиН 1.2.3685-21 [166].

Подводя итог ко всему вышеописанному, важно отметить, что разработка инновационных решений в области монолитного домостроения в части гражданского строительства должна базироваться на корректном учёте температурно-климатических воздействий при определении температурных деформаций и обеспечивать безопасные и комфортные условия проживания людей.

1.5 Выводы по главе. Цели и задачи исследования

Анализ и оценка существующих проектных решений, а также требований, предъявляемых к эксплуатационным качествам ограждающих конструкций зданий показал следующее:

1) в настоящее время в строительстве гражданских зданий основное направление получили монолитные здания с такими типами конструктивных систем, как стеновые и каркасные, в которых, к наиболее уязвимым участкам ограждающих конструкций относятся – узлы сопряжения горизонтальных и вертикальных элементов;

2) выполнена систематизация существующих конструктивных решений узлов сопряжения дисков перекрытий со стеной, получившие распространение на территории Санкт-Петербурга;

3) выявлены характерные дефекты и повреждения в зданиях монолитной конструкции. В сложившейся практике строительства, устраиваемая перфорация под термовкладыши выполняется со значительными отступлениями от проекта. В ходе проводимых обследований зданий была зафиксирована нерегулярность шага перфорации;

4) в Санкт-Петербурге при эксплуатации зданий с различными типами исполнения узлов сопряжения диска перекрытия со стеной, были зафиксированы следующие дефекты, а именно: образование мостиков холода в конструкции сопряжения плит перекрытия со стеновыми ограждающими конструкциями, что явилось причиной нарушения температурно-влажностного режима в жилых помещениях, и привело к ухудшению комфортных условий проживания в них;

5) существующее многообразие конструктивных узлов объясняется тем, что проектировщиками до конца не решен целый ряд вопросов, например: обеспечение условий комфортности с позиций санитарно-гигиенических требований; неоправданно высокие теплопотери здания; не в полной мере выполняется требование п.5.2.3 СП 23-101-2004; влияние гидрофизических свойств монолитного пенобетона на теплоизоляционные качества наружного ограждения;

6) эксперименты по исследованию узлов сопряжения диска перекрытия со стеной носили преимущественно ограниченный характер и проводились в лабораторных условиях.

С учётом вышеизложенного, целью диссертации является совершенствование конструктивных решений и повышение эксплуатационных качеств узлов сопряжений дисков перекрытий с наружной стеной с учётом влияния температурно-климатических воздействий и разработка рекомендаций по их использованию в составе теплозащитной оболочки здания.

Задачи исследования:

– анализ эксплуатационных качеств ограждающих конструкций, включающий оценку механических, теплотехнических и санитарно-гигиенических показателей в зависимости от температурно-климатических воздействий;

– проведение натурных обследований применяемых конструктивных решений узлов сопряжений дисков перекрытия с наружными стенами в монолитных домах на примере гражданских зданий Санкт-Петербурга;

– построение математической модели для расчёта температурных полей в узле сопряжения диска перекрытия с наружной стеной с учётом теплотехнической неоднородности конструкции;

– выполнение расчётов температурных полей в узлах сопряжения диска перекрытия с наружной стеной на основе разработанной математической модели и выполнение сравнительного анализа результатов моделирования с данными натурных обследований;

– моделирование напряжённо-деформированного состояния (НДС) фрагмента диска перекрытия с различным шагом перфорации и учётом температурно-климатических воздействий, выявление мест концентрации напряжений и деформаций;

– усовершенствование применяемых конструктивных решений и разработка новых узлов сопряжения диска перекрытия с наружными стенами с рекомендациями по их применению в составе теплозащитной оболочки здания.

Глава 2. Натурное обследование температурно-влажностного режима помещений в гражданских зданиях монолитной конструкции

2.1. Вводные замечания

Основой для экспериментального исследования послужили ограждающие конструкции монолитных зданий облицованных кирпичом. Соответствующие типы конструктивных узлов были рассмотрены в главе 1 настоящей работы. Предпосылками для выполнения этой работы послужили:

– многочисленные жалобы квартирантов, проживающих в жилых помещениях, на низкий температурный режим, о чём имеются соответствующие записи в журнале управляющей ТСЖ «Приморское» за 1 квартал 2006 г.

В качестве объектов исследования рассматривались монолитные жилые здания, расположенные в г. С.- Петербурге по адресам: Комендантский пр. 11; Богатырский пр. 51; Дунайский пр., квартал 55, Рыбацкий пр.15.

Климатические параметры для г. Санкт-Петербурга были приняты в соответствии с СП 131.13330 [183]:

– расчётная температура наиболее холодной пятидневки $t_н$= -24° С;
– расчётная температура внутреннего воздуха $t_в$=20° С;
– средняя за отопительный период $t_{от}$ для зданий $t_{от}$ = -1,2° С;
– продолжительность отопительного периода $z_{от}$= 211 сут.;
– градусо-сутки отопительного периода ГСОП= 4473 ° С сут.;

Все рассматриваемые здания отапливаются от местных ТЭЦ. Система отопления однотрубная с нижней разводкой. Водоснабжение холодное и горячее - от сети городского водоснабжения. Помещения кухонь и санитарных узлов оборудованы вытяжкой.

При эксплуатации таких зданий возникает необходимость:

– выявления причин неудовлетворительного температурного режима помещений;
– проверки соответствия по теплотехническим качествам выполненных конструкций проектным.

2.2. Описание состава аппаратуры и оборудования

Для производства работ использовалась стандартная измерительная аппаратура.

- термогигрометр цифровой ТГЦ-МГ4 (для непрерывной регистрации температур и относительной влажности воздуха);
- электронный измеритель плотности тепловых потоков и температур ИТП-МГ 4.03 «ПОТОК» [47,36,45,37] ;
- тепловизор Fluke Ti50 [44];
- термощуп (для измерения температур на поверхности ограждающих конструкций);
- электронный комбинированный прибор Щ 4313;
- термодатчик;
- микровольметр В-12;
- шлямбур диаметр 15 мм с победитовым наконечником (приспособление для отбора проб материала на влажность по толщине конструкции стены);
- аспирационный психрометр Ассмана (для настройки самописцев, измерений температур и влажности воздуха);
- термограф суточный;
- лабораторный термометр типа ТЛ-2 (от минус 30^0 до плюс 70^0 С) по ТУ25-2021.003-88;
- метеорологический низкоградусный термометр ТМ-9 (от минус 70^0 до плюс 20^0 С) по ГОСТ 112-78;

Выбор тех или иных приборов зависел от режима наблюдений. В одном случае, измерения проводились круглосуточно, например, для определения температуры и влажности наружного и внутреннего воздуха. В другом случае, носили эпизодический характер, поэтому проводились с использованием малогабаритной портативной аппаратуры.

Наблюдения за распределением температуры воздуха и влажности по высоте помещений проводилось с помощью термогигрометра цифрового ТГЦ-МГ4, представленного на рисунке 2.1. Прибор служит для измерения относительной влаж-

ности воздуха и температур в условиях неагрессивного воздействия среды. В состав прибора входят: электронный блок и выносной зонд с преобразователем влажности и температуры. Регистрируемые показания, содержащие данные о микроклимате, хранятся в памяти и передаются на персональный компьютер посредством кабеля.

Показанный на рисунке 2.2 прибор ИТП-МГ 4 "Поток" предназначен для измерения плотности тепловых потоков, проходящих через толщу однородных и неоднородных ограждающих конструкций.

Рисунок 2.1 –Термогигрометр цифровой ТГЦ-МГ4

Рисунок 2.2 – Измеритель плотности тепловых потоков ИТП-МГ4.0

Тепловизионное обследование было выполнено тепловизиром Fluke Ti50 производства компании Fluke (США). Наблюдаемые тепловые изображения автоматически преобразуются в термограммы путём амплитудного изменения шкалы сигнала в температурную шкалу в соответствии с градуировочной характеристикой тепловизора и условиями формирования изображения, такими как: дистанцией наблюдения, коэффициентом излучения поверхности объекта, температурой воздуха, температурой окружающего фона. Общий вид и основные технические характеристики указанного прибора сведены в таблицу 2.1.

Термограмма даёт графическое представление о распределении температур на поверхности изучаемого объекта. Индикатором, устанавливающим взаимо-

связь цветового спектра термограммы и температуры поверхности, служит температурная шкала. Сохранение регистрируемых термограмм происходит в память CF (Compact Flash) карты. Анализ результатов полученных изображений в инфракрасном и видимом спектрах осуществляется при помощи программного обеспечения Fluke SmartView™ IR.

Таблица 2.1. – Технические характеристики тепловизора Fluke Ti50

Модель Fluke Ti50	
Технические характеристики	
Диапазон измеряемых температур	Поддиапазон 1 от -20°C до +100°C Поддиапазон 2 от -20°C до +350°C
Порог температурной чувствительности	≤ 0,07°C при 30°C
Точность измерения температуры	±2°C или 2%
Спектральный диапазон	8-14 мкм
Угол поля зрения объектива	23° в горизонтальной плоскости и 17° в вертикальной плоскости
Дисплей	5-ти дюймовый 320x240 точек LCD

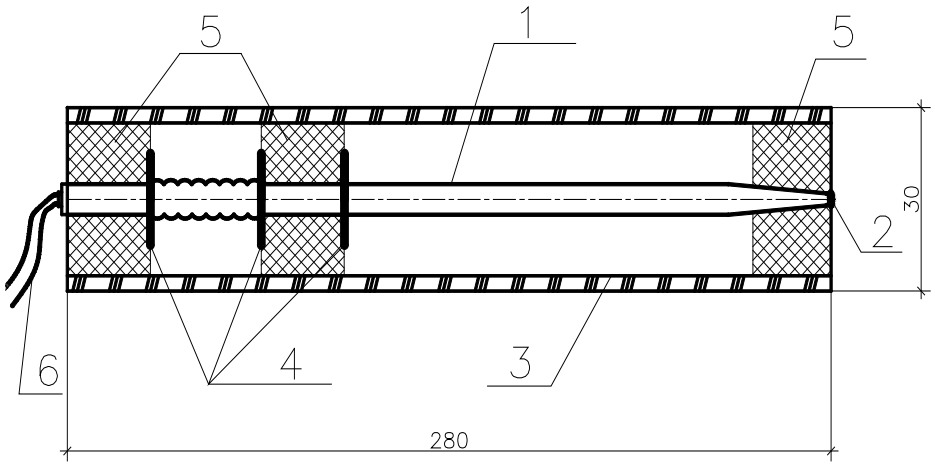
При помощи термощупа, схема которого представлена на рисунке 2.3, измерялась температура на поверхности ограждающей конструкции (ОК). Чувствительным элементом которого является терморезистор типа КМ. Отсчёты брались по показаниям переносного электронного комбинированного прибора Щ 4313.

Для проведения детализированных исследований температурных полей на поверхностях ограждающей конструкции, в лаборатории строительной физики

ФГБОУ ВО ПГУПС был изготовлен термодатчик с номинальным сопротивлением R_0=53 Ом рабочими параметрами, рассчитанной на температуру окружающей среды от минус 50 до плюс 150 градусов °С. Он представляет собой две тонкие полоски меди и константана, у которых один конец спаян. Сам термодатчик заключён в изолирующую оболочку. Данный прибор использовался совместно с электронной аппаратурой, с помощью которой определялось температурное поле верхней, нижней и наружной торцовой граней плиты перекрытия. В качестве термостатирующего сосуда Дьюара, использовался обычный термос с тающим льдом, в который был помещен контрольный лабораторный термометр [67]. Указанные приборы были тарированы в лаборатории строительной физики ФГБОУ ВО ПГУПСа. Уточнение интервала температур термопары, в котором выполнялось преобразование температур в термоэлектродвижущую силу проводилось с учётом требований ГОСТ Р 8.585-2001 [50] Общий вид используемого оборудования представлен на рисунке 2.4.

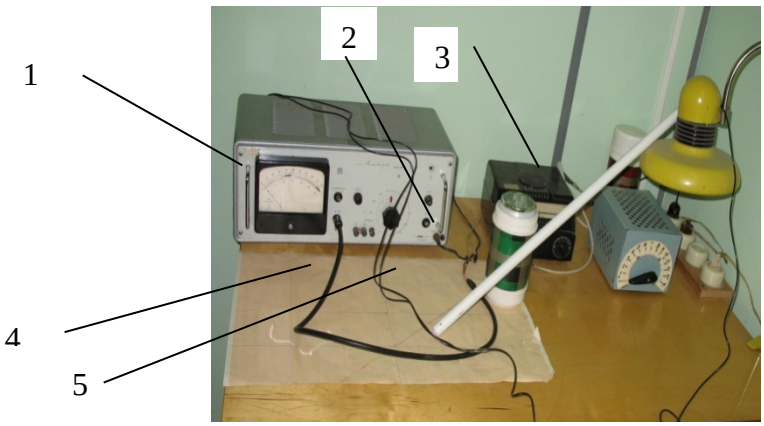
Для отбора проб на влажность из стены применялся шлямбур, изготовленный в соответствии со схемой, см. рисунок 2.5.

Другие используемые в эксперименте приборы являются метеорологическими и подробно описываются во многих литературных источниках [74].



1 – терморезистор; 2 – чувствительный элемент резистора; 3 – защитный кожух (поливинилхлоридная трубка ∅ 30 мм, *l* = 280); 4 – шайбы (резина, δ = 2 мм); 5 – пенополиуретановые пробки; 6 – выводы к измерительному прибору.

Рисунок 2.3 – Схема термощупа



1-микровольтметр В-12; 2- термос (сосуд Дьюара); 3-термопара;
4 –выводы к измерительному оборудованию; 5-холодный спай

Рисунок 2.4 – Общий вид экспериментального оборудования

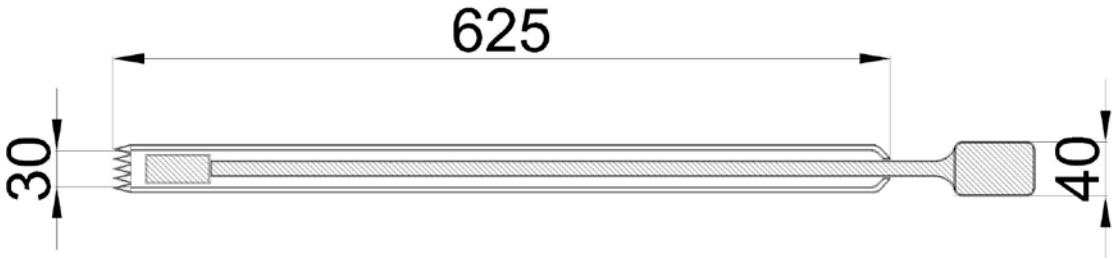


Рисунок 2.5– Шлямбур для отбора проб

2.3. Методика проведения теплотехнических исследований

Теплотехнические исследования проводились с целью контроля качества теплоизоляции наружных ограждающих конструкций и теплового режима здания в условиях эксплуатации. Методика проводимого теплотехнического обследования, в состав которой входил тепловизионный контроль качества теплоизоляции ограждающих конструкций, выполнялась в соответствии с ГОСТ Р 54852-2011 и правилами установленными по ГОСТ 31937-2011 [44, 39]. Объём выполненных работ включал в себя:

- исследование микроклимата помещений - температура воздуха в рабочей зоне по высоте от уровня пола (в см) на отметках ±0, ±10, ±75, ±150; (Н-10), где Н-отметка потолка и определение относительной влажности воздуха в помещении φ (в %);
- отбор проб для определения влажности w в наружных стенах;
- регистрацию теплового потока Q;

- теплотехнические испытания узлов междуэтажных перекрытий (регистрация температурного поля плиты перекрытия);

- тепловизорное обследование;

- регистрацию температур наружного воздуха.

В состав теплотехнических исследований жилых зданий входило определение следующих параметров:

- инфракрасная диагностика наружной и внутренней поверхности дома;

- характер температурных полей поверхностей плит перекрытий;

- фактического сопротивления теплопередаче R ограждающих конструкций: стен, в некоторых случаях и для перекрытий;

- регистрация температур и влажности наружного и внутреннего воздуха;

- определение теплотехнических характеристик наружных ограждающих конструкций: влажности пенобетона,

- проверка исследуемых конструктивных элементов на наличие скрытых дефектов теплоизоляции

По результатам экспериментов были составлены рисунки, построены диаграммы, таблицы и графики с температурными полями по поверхностям наружных ограждений, что позволило выявить дефекты конструкций и разработать рекомендации по повышению комфортности микроклимата помещений.

Проведённое комплексное тепловизионное обследование является эффективным средством контроля качества теплозащиты зданий. В ходе тепловизионного обследования были выявлены зоны проблемных участков ограждающей конструкции. Натурные испытания проводились в соответствии с комплексной методикой контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций (ОК) зданий и сооружений, утверждённой Госстроем РФ и рекомендованной к применению при проведении контроля качества тепловой изоляции ОК в натурных условиях [164]. Данная методика реализует методы контроля ОК по [47,36, 45,67]. В состав проводимого комплексного обследования входил тепловизионный контроль. Используемые тепловизоры марки Fluke 50Ti и Fluke 32TiR обеспечивали возможность бесконтактной регистрации распределения радиационной

температуры на обследуемой поверхности. Результатом проводимых работ по тепловизионной съёмке наружных и внутренних ограждающих конструкций являлись двумерные изображения обследованных поверхностей. Интенсивность монохромной или полихромной цветовой гаммы и её яркость соответствует значению температуры, определяемой температурной шкалой термограммы. Высокая точность контактных методов измерения температуры и тепловых потоков была реализована при помощи поверенного прибора ИТП-МГ4.0.

На основе анализа результатов тепловизионной съёмки выбираются базовые участки, обследуемых ограждающих конструкций, в которых устанавливаются контактные датчики температур и тепловых потоков. Продолжительность цикла измерений определяется тепловой инерцией ограждающих конструкций и динамикой изменения погодных условий.

Выбор тех или иных приборов зависел от режима наблюдений. В одном случае, измерения проводились круглосуточно, например, для определения температуры и влажности наружного и внутреннего воздуха. В другом случае, носили эпизодический характер, поэтому проводились с использованием малогабаритной портативной аппаратуры. Измерения производились в соответствии с методическими и нормативными документами [93,36,47]**.** В соответствии с руководством по эксплуатации прибора ИТП-МГ 4 "Поток" [67] отмечено, что один из датчиков служит для определения наружной температуры воздуха. Ввиду того, что в натурных условиях не всегда имелась возможность закрепить датчик на наружной поверхности стены, то соответственно он служил для определения внутренней температуры ограждающей конструкции. При исследовании температурных полей диска перекрытия, а в некоторых случаях и стен, измерения проводились контактным способом. Предварительно, поверхность ограждающей конструкции разбивалась на квадраты со сторонами 10х10 см.
В данном случае, рассматривалась верхняя и нижняя грань перекрытия (потолок и пол). Измерения проводились, начиная от плоскости сопряжения плиты перекрытия со стеной и до того момента, когда наблюдалась стабилизация температур в исследуемых точках.

Фрагмент исследуемого участка ограждающей конструкции приведён на рисунке 2.6. Для исследования температурного поля перекрытия, чтобы исключить влияние отопительных приборов на показания температурных датчиков и тепломеров, были установлены защитные экраны на конвекторы (радиаторы).

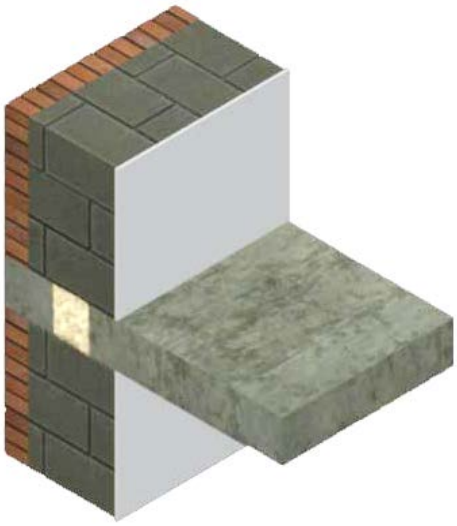
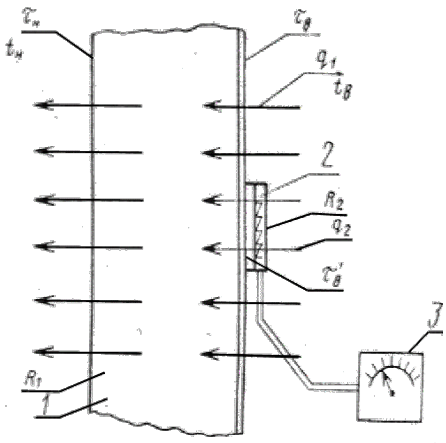


Рисунок 2.6 – Узел сопряжения плиты перекрытия со стеной. Модель эксперимента

В соответствии с руководством по эксплуатации прибором ИТП-МГ-4.0 [67] и требованиями ГОСТ 25380-2014 [36], регистрация температур и тепловых потоков прибором ИТП-МГ-4.0 происходила через преобразователи тепловых потоков, которые крепятся к поверхности конструкции при помощи теплопроводной пасты. На рисунке 2.7 указана схема прибора с тремя преобразователями тепловых потоков, которая представляет собой металлическую пластину диаметром 27 мм и толщиной 2 мм. Преобразователь температуры имеет габариты: диаметр 12 мм и толщиной 4 мм. Полученная информация в ходе исследования хранится в памяти прибора, затем передаётся на персональный компьютер и выводится в виде таблиц и графиков на мониторе [67].



1 - ограждающая конструкция;
2 -преобразователь теплового потока;
3 - измеритель э.д.с.;
$t_н$, $t_в$, - температура внутреннего и наружного воздуха; $\tau_н$, $\tau_в$, $\tau'_в$ - температура наружной, внутренней поверхностей ограждающей конструкции вблизи и под преобразователем соответственно; R_1, R_2- термическое сопротивление ограждающей конструкции и преобразователя теплового потока; q_1 ,q_2- плотность теплового потока до и после закрепления преобразователя.

Рисунок 2.7– Схема измерения плотности теплового потока[7]

[7] Описание принципа работы прибора ИТП-МГ.4 и схема его устройства взяты из паспорта прибора

2.4. Результаты натурных исследований ограждающих конструкций

2.4.1 Наблюдения проводимые по Комендантскому пр. 11 в 1 квартале 2006 г.

С момента сдачи в эксплуатацию монолитного жилого здания, находящегося по адресу: г. С.-Петербург, квартал 29А, Комендантский пр.11 (проект ОАО «ЛеННИИ-Проект»), как это было отмечено в работе [89] автором проводимого исследования – Кузнецовым А.В, дважды были проведены натурные наблюдения по определению теплозащитных характеристик наружных ограждений. Оба раза исследования проводились в зимнее время (январь-февраль 2006-2007 гг.). На рисунке 2.8 представлены два фасада этого здания- со стороны Комендантской пл. и со стороны дворовой территории.

Обследуемое здание было возведено в 2004 г. В соответствии с предлагаемой типологией, рассмотренной выше, устройство монолитного перекрытия и наружных стен имеет два типа. Перекрытие с 3-го по 5-ый этажи было выполнено по типу-3, для которого характерны консольные выпуски и отсутствие перфорации под утеплитель, см. рисунок 2.9. Остальные перекрытия представлены типом-4 (см. рисунок 2.10), отличительной особенностью которых, является наличие подрезки в виде «зуба» толщиной –80 мм. Толщина перекрытий в обоих случаях составляет 180 мм.

В соответствии с проектными данными, в целях уменьшения влияния мостика холода в фасадных выпусках плит (тип-3) с заданным шагом, равным 150 мм, укладывается утеплитель размерами 250х100х180 мм, выполненный из экструзированного пенополистирола.

Наружная стена представляет собой однородную многослойную конструкцию. Согласно проектным характеристикам, толщина её составляет 432 мм, где внешним облицовочным слоем является кирпич - толщиной 120 мм и плотностью γ= 1600 кг/м^3, затем заливочный пенобетон - толщиной 300 мм и плотностью γ= 200 кг/м^3, с внутренней стороны устанавливается лист водостойкого гипсокартона - толщиной 12 мм и плотностью γ= 1050 кг/м^3.

Комплекс проводимых работ в зимний цикл 2006 г. характеризовался нестабильностью погодных условий. Контактные измерения в помещениях с 3 по 7 этаж проводились в период с 1 по 3 февраля и с 13 по 15 февраля 2006 г.

Рисунок 2.8 – Жилое здание на Комендантском пр.11

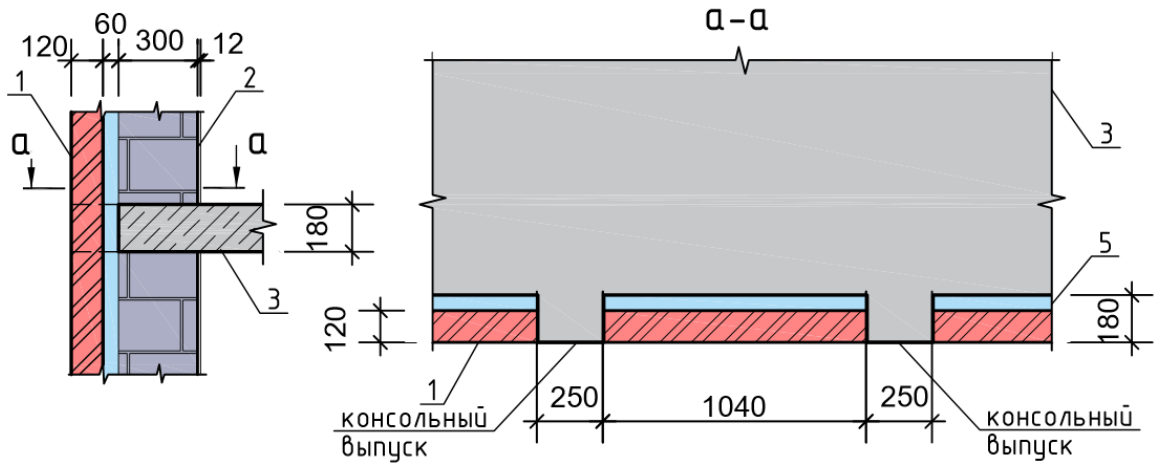


Рисунок 2.9 – Диск перекрытия с консольными выпусками.Тип-3

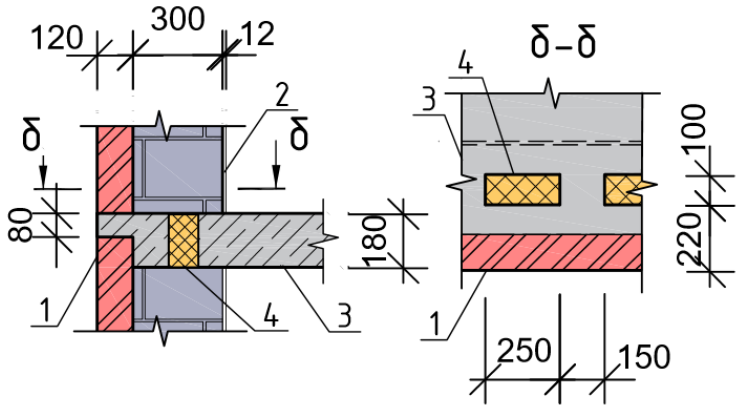


Рисунок 2.10 – Диск перекрытия с подрезкой в виде «зуба». Тип-4

Состав наблюдений для данного объекта включал в себя:

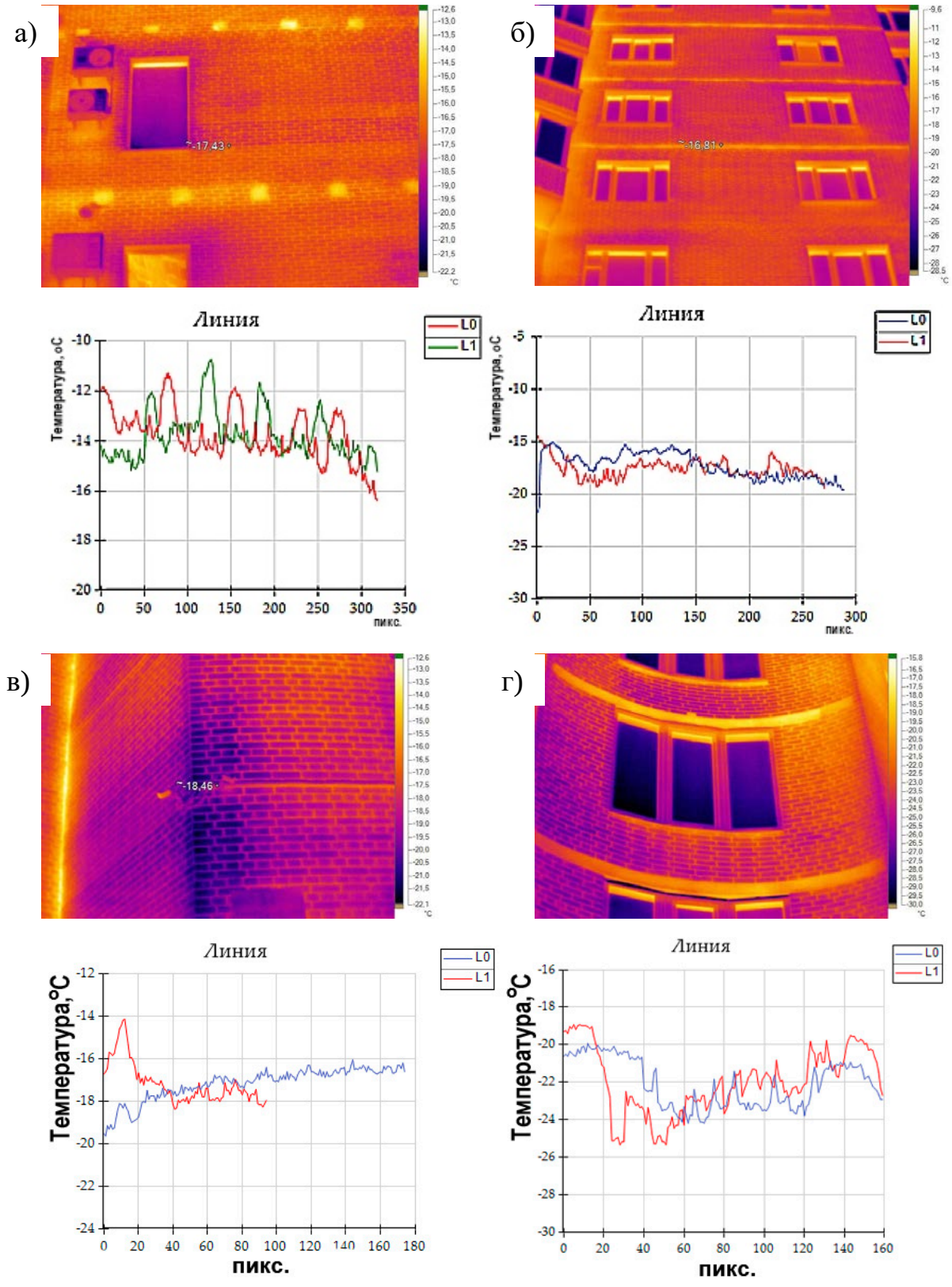
- выполнение тепловизионной съёмки фрагментов ограждающей конструкции;
- суточную регистрацию температур наружного и внутреннего воздуха при помощи недельного термографа по ГОСТ 6416;
- влажность воздуха внутри помещений;
- определение температур на горизонтальной поверхности диска перекрытия;
- определение тепловых потоков и температур на внутренней поверхности стены по ГОСТ 25380;
- лазерный дальномер;
- отбор проб на влажность из толщи стены с помощью шлямбура.

Далее приводятся отдельные результаты тепловизионной съёмки обследования жилого здания. Тепловизионный контроль выполнялся в условиях близких к стационарным. На рисунке 2.11 представлены наиболее характерные термограммы фрагмента фасада, обработанные в специальной программе. Графики построены по торцевой части диска перекрытия, вертикальной гранью выходящие на фасад.

Проиллюстрированные на рисунке 2.11 термограммы фрагментов наружных ограждений монолитного здания, свидетельствуют о зонах, где происходят наибольшие тепловые потери. Как видно из термограмм, распределение температурных полей неоднородно. Наиболее уязвимыми конструктивными элементами в теплотехническом отношении являются: вертикальные поверхности диска перекрытия, оконные переплёты, швы кирпичной кладки, вертикальный деформационный шов.

Результаты наблюдений за состоянием температурного режима внешней и внутренней сред включал в себя большой массив данных, обобщённый вид которых отображён в виде графиков на рисунке 2.12. Данные о погодных условиях определялись автором лично и сверялись с данными местных метеостанций [11,151].

Перед началом проведения теплотехнического обследования контактным способом, происходил подготовительный этап подготовки. Поверхность стены разбивалась вертикальными и горизонтальными линиями на секторы размерами 100х100 мм. В местах их пересечения устанавливались 3 чувствительных датчика для снятия показаний теплового потока. Два датчика – применялись для регистрации температур наружного и внутреннего воздуха.



а) диск перекрытия с консольными выпусками.Тип-3; б), г) диск перекрытия с подрезкой в виде «зуба». Тип-4; в) фрагмент глухой части фасада.

Рисунок 2.11 – Термограммы фрагментов фасада

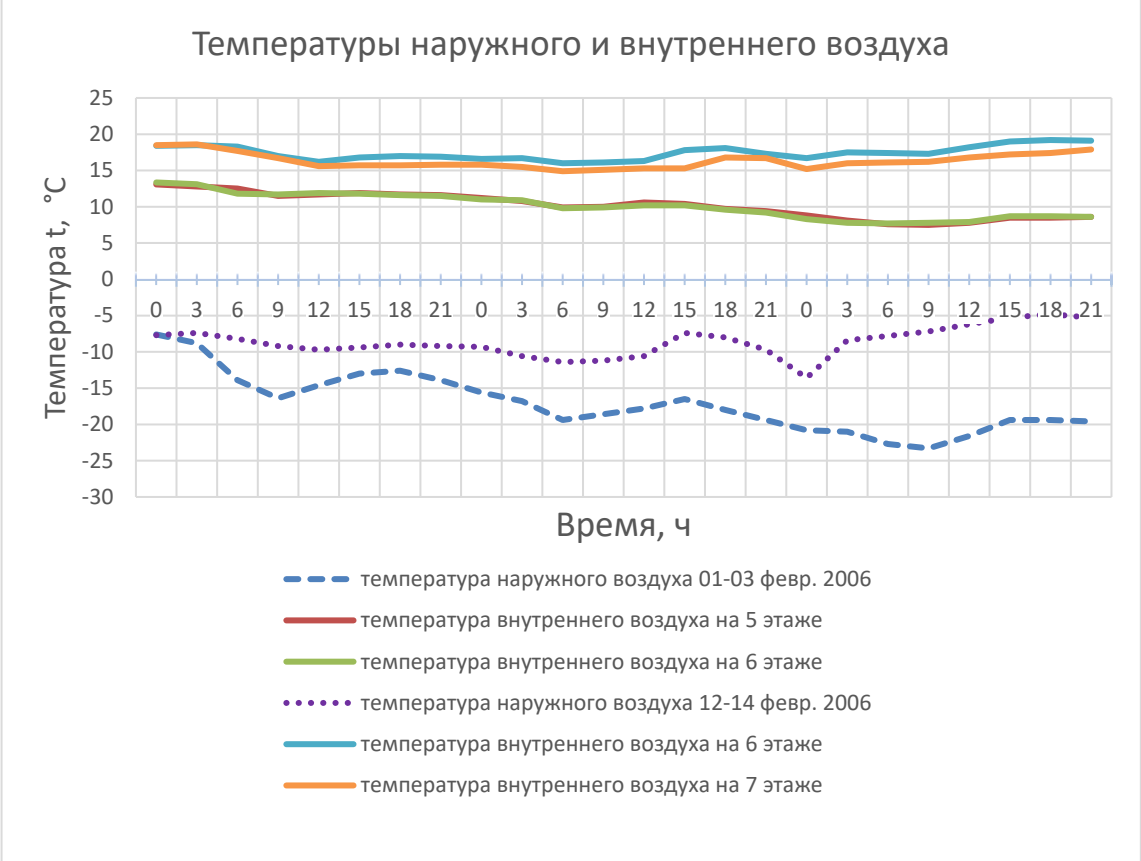


Рисунок 2.12– Значения температур наружного и внутреннего воздуха

Замеры тепловых потоков и температур воздуха на поверхности стены производились 1 и 3 февраля 2006 г. Результаты регистрации тепловых потоков представлены на рисунке 2.13.

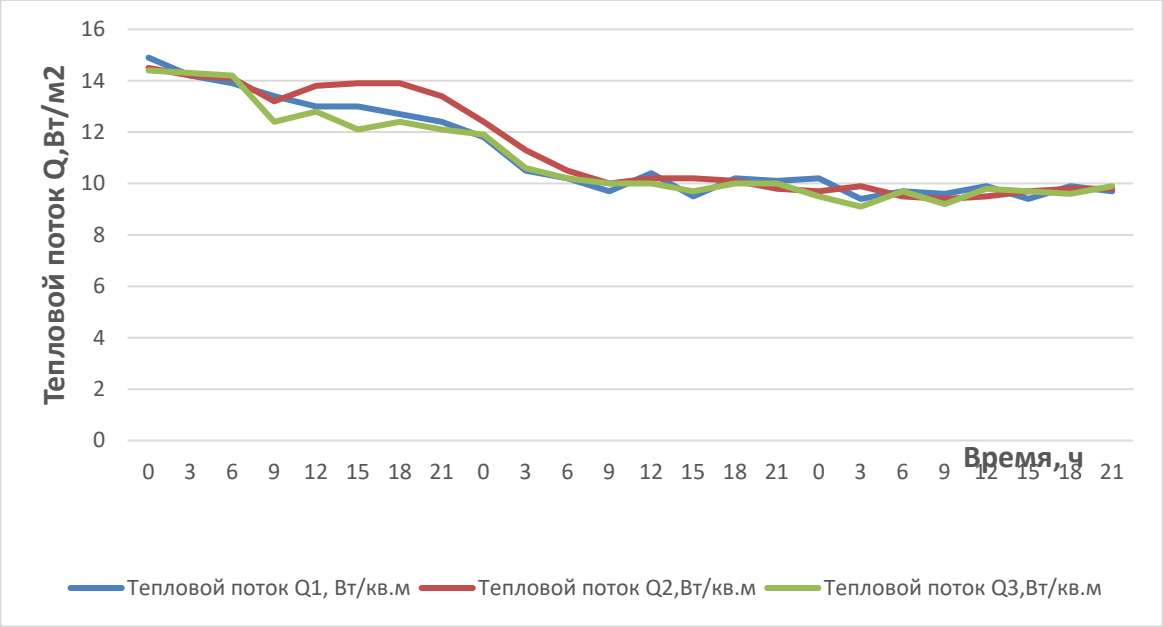


Рисунок 2.13 – Значения входящего теплового потока Q через толщу стены

Отдельно проводилась регистрация тепловых потоков на поверхности диска перекрытия при помощи многоканального прибора ИТП МГ.4. Полученные результаты были обработаны и выведены на графике, показанному на рисунке 2.14.

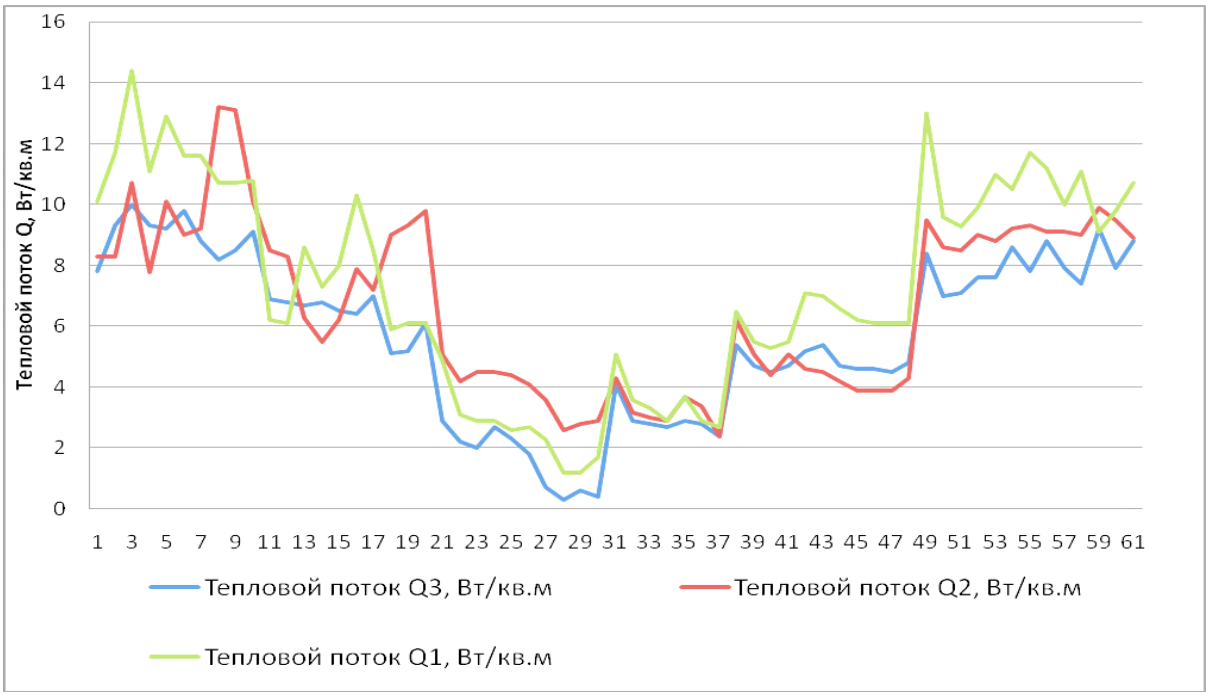


Рисунок 2.14 –График распределения тепловых поток на горизонтальной поверхности плиты перекрытия 6 этаж.

Значение измеренных плотностей теплового потока q′, Вт/м^2, вычисляют по формуле [197, 160] :

$$q \circ = q \cdot \frac{t_н - \tau_в}{t_н - \tau_в'}\ , \qquad (2.1)$$

где $t_н$ - температура наружного воздуха напротив преобразователя, К (°С);

$\tau_в$ и $\tau_в'$ - температура поверхности на участке измерения вблизи преобразователя и под преобразователем соответственно, К (°С).

В измеряемых точках, средние значения тепловых потоков составили:

$$q_1^\circ = q_1 \cdot \frac{t_н - \tau_в}{t_н - \tau_в'} = 5{,}69 \cdot \left(\frac{-19{,}4 - 7{,}8}{-19{,}4 - 5{,}8}\right) = 6{,}14\ {}^{Вт}/_{м^2}\ , \qquad (2.2)$$

$$q_2^\circ = q_2 \cdot \frac{t_н - \tau_в}{t_н - \tau_в'} = 6{,}68 \cdot \left(\frac{-19{,}4 - 7{,}8}{-19{,}4 - 6{,}7}\right) = 6{,}96\ {}^{Вт}/_{м^2}\ , \qquad (2.3)$$

$$q_3^{\circ} = q_3 \cdot \frac{t_н - \tau_в}{t_н - \tau'_в} = 7{,}24 \cdot \left(\frac{-19{,}4 - 7{,}8}{-19{,}4 - 7{,}2}\right) = 7{,}4 \ {}^{Вт}/_{м^2}, \quad (2.4)$$

Определение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций производится по методике, разработанной лабораторией изоляции зданий НИИСФ [69]. Данный метод основан на приёме приведения результатов наблюдений нестационарных температур к стационарному температурному режиму. Способ вычисления заключается в осреднении наблюдаемых значений температур и тепловых потоков, проходящих через преобразователь теплового потока. Если известно среднее значение теплового потока Q, температуры внутренней и наружной поверхности ограждающей конструкции $\tau_в$ и $\tau_н$, температуры воздуха с внутренней и наружной сторон ограждения $t_в$ и $t_н$, а также суммарное термическое сопротивление преобразователя теплового потока и воздушной прослойки под ним Rt,, то термическое сопротивление ограждения можно определить по формуле:

$$R_{терм} = \frac{\tau_н - \tau_в}{Q} - R_т \cdot \frac{\tau_н - \tau_в}{t_н - t_в} = \frac{\tau_н - \tau_в}{t_н - t_в} \cdot \left(\frac{\tau_н - \tau_в}{Q} - R_т\right) \approx \frac{\tau_н - \tau_в}{Q}, \quad (2.5)$$

$$\text{при } R_т \leq \frac{t_н - t_в}{Q}, \quad (2.6)$$

, а сопротивление теплопередаче можно приближённо считать равным:

$$R_T = \frac{t_н - t_в}{Q}, \quad (2.7)$$

В соответствии с формулой 2.7 были определены термические сопротивления теплопередачи плиты перекрытия (4-5 этаж):

$$R_{T1} = \frac{t_н - t_в}{Q_1} = \frac{7{,}8 - (-19{,}4)}{6{,}14} = 4{,}42 \quad {}^{м^2 \cdot {}^0C}/_{Вт}, \quad (2.8)$$

$$R_{T2} = \frac{t_н - t_в}{Q_2} = \frac{7{,}8 - (-19{,}4)}{6{,}96} = 3{,}9 \quad {}^{м^2 \cdot {}^0C}/_{Вт}, \quad (2.9)$$

$$R_{T3} = \frac{t_н - t_в}{Q_3} = \frac{7{,}8 - (-19{,}4)}{7{,}4} = 3{,}67 \quad {}^{м^2 \cdot {}^0C}/_{Вт}, \quad (2.10)$$

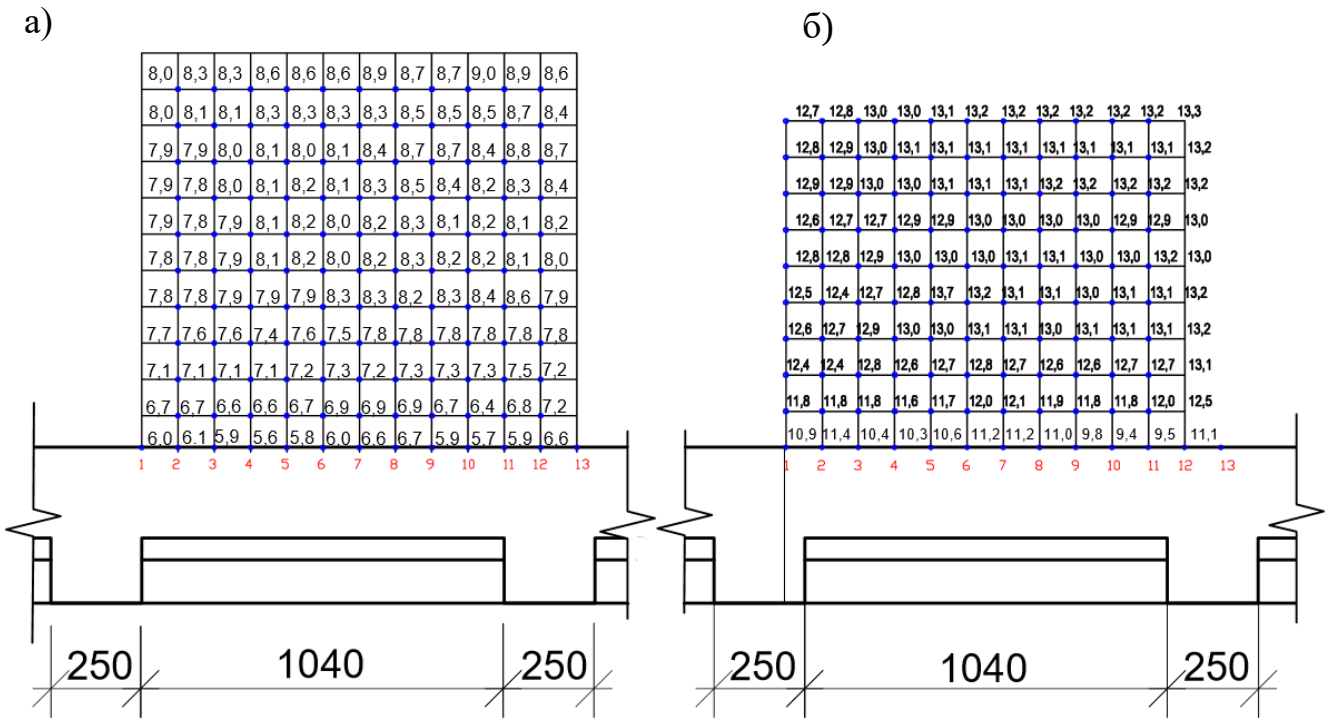
В результате выполнения экспериментальных исследований, были определены: температуры наружного и внутреннего воздуха, относительная влажность воздуха внутри помещений с 4 по 7 этажи. Было выявлено, что при средних значениях температур внутреннего и наружного воздуха tн= -23 °С, tв= 7,8 °С и относительной

влажности φв= 17% температура на горизонтальных поверхностях плиты перекрытия: верха (пола) и низа (потолка) являлась весьма заниженной, по сравнению с действовавшими на момент возведения здания норм, (см. табл. 2*, СНиП II-3-79*), где температурный перепад составил выше 20 ºС [181].

Температурные отсчёты брались по сетке, с шагом 50 и 100 мм. Рассмотрим наиболее характерные результаты исследования горизонтальной поверхности перекрытия (пол-потолок) для 4-5 этажей, данные о которых графически представлены на рисунках 2.15 и в виде графиков распределения этих температур на рисунках 2.16, 2.17. Произведённые замеры показали, что температура поверхности сопряжения верхней грани плиты перекрытия (пола) со стеной была в пределах от 5.6 ºС до 6.6 ºС, см. рисунок 2.15 а. Характер температур на расстоянии в пределах 200-700 мм от внутренней поверхности наружной стеновой конструкции изменялся незначительно. На удалении 200 мм от стены в третьем ряду она изменялась с 6.4 ºС до 7.2 ºС. Температурное поле плиты перекрытия начиная с расстояния 300 мм от внутренней грани наружной стены стабилизировалось, минимальное значение составило 7.1 ºС, а максимальное 7.3 ºС - 4 ряд. Такая тенденция зон с пониженными температурами наблюдалась на всём протяжении исследуемого участка, длина которого составила 1100 мм. Температура в исследуемых точках только для 5 ряда составила в максимальном значении 8.6 ºС, минимальное 7.8 ºС. В дальнейшем, рост температуры наблюдался незначительно, максимальная температура для 11 ряда была равной 9.0 ºС, минимальное значение 8.3 ºС. Таким образом, фактический температурный перепад составил 11 ºС и 11.7 ºС соответственно, вместо требуемых значений равных 20 ºС [8] [180,181].

В случае, когда плита перекрытия является потолком комнаты (см. рисунок 2.15 б), минимальная температура на её поверхности равна 9.4 ºС, а максимальная 11.4 ºС для 1 ряда. Для последующих рядов, повышение температуры было незначительным. Например, для 10 ряда 12.7 ºС – минимальное значение, 13.3 ºС - максимальное. Температурный перепад составил 7.3 ºС и 6.7 ºС соответственно.

[8] на момент проектирования и строительства здания действовал СНиП II-3-79*



а) верхняя грань плиты перекрытия (пол); б) нижняя грань плиты перекрытия (потолок)

Рисунок 2.15 – Распределение температуры на рассматриваемых поверхностях плиты перекрытия 3 февраля 2006 г., при $t_н$= -23 ^{0}C, $t_в$=7,8 ^{o}C (на высоте 0,5 м), в жилом доме, находящегося по адресу: г. С.-Петербург, Комендантский пр.11. 4-5 этаж. Диск-перекрытия -тип-3

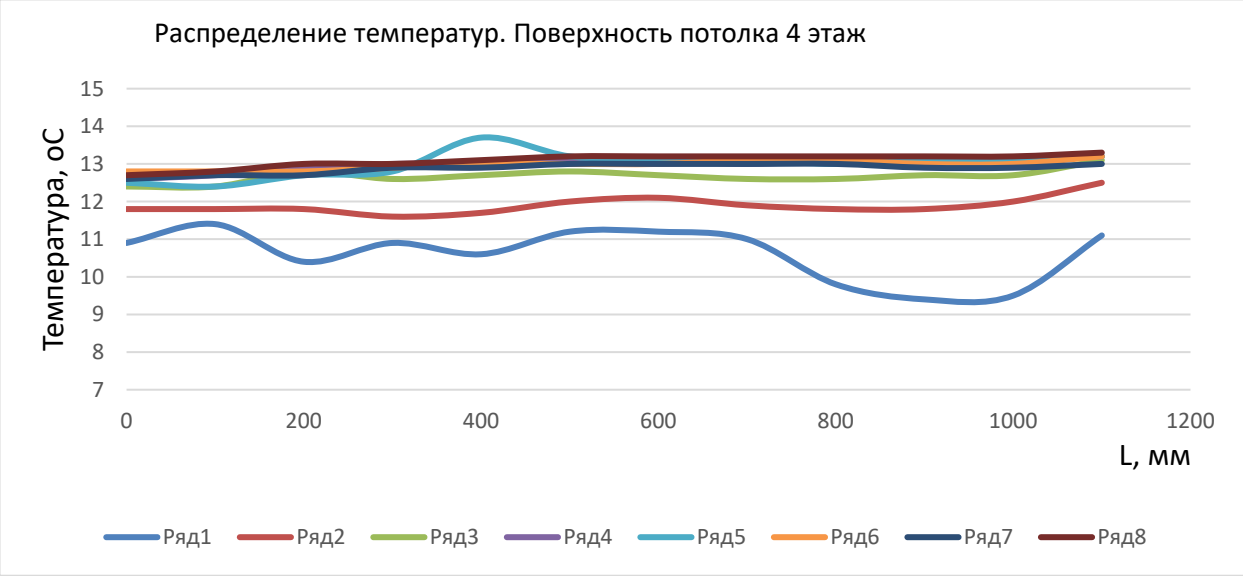


Рисунок 2.16 – Распределение температур по длине плиты перекрытия -потолок 4 этажа. Диск-перекрытия -тип-3 (Комендантский пр. 11, 3 февраля 2006 г.)

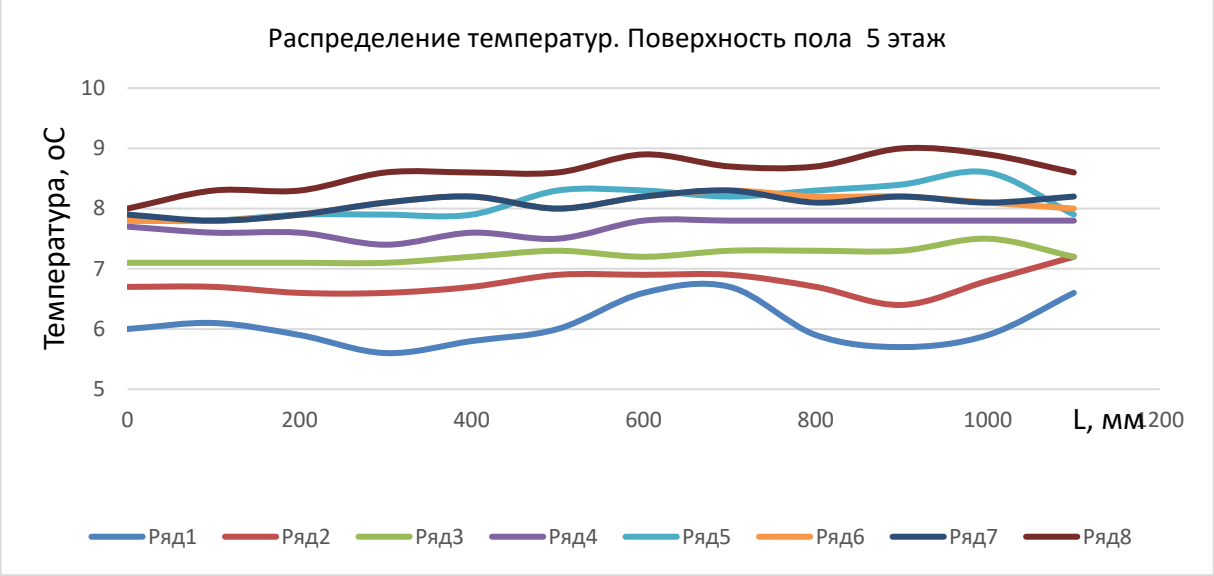


Рисунок 2.17 – Распределение температур по длине плиты перекрытия -пол 5 этажа. Диск-перекрытия -тип-3 (Комендантский пр. 11, 3 февраля 2006 г.)

Рассмотрим вариант ограждающей конструкции, представленный типом-4 на рисунке 2.18, состоящий практически из тех же материалов, что и предыдущий. В данном случае, вместо пенобетона был применен газобетон толщиной 400 мм и плотностью γ= 400 кг/м^3. В качестве покрытия на внутренней поверхности стены был использован штукатурный раствор толщиной 15 мм, плотностью γ= 1050 кг/м^3. Общая толщина конструкции стены составляла 535 мм.

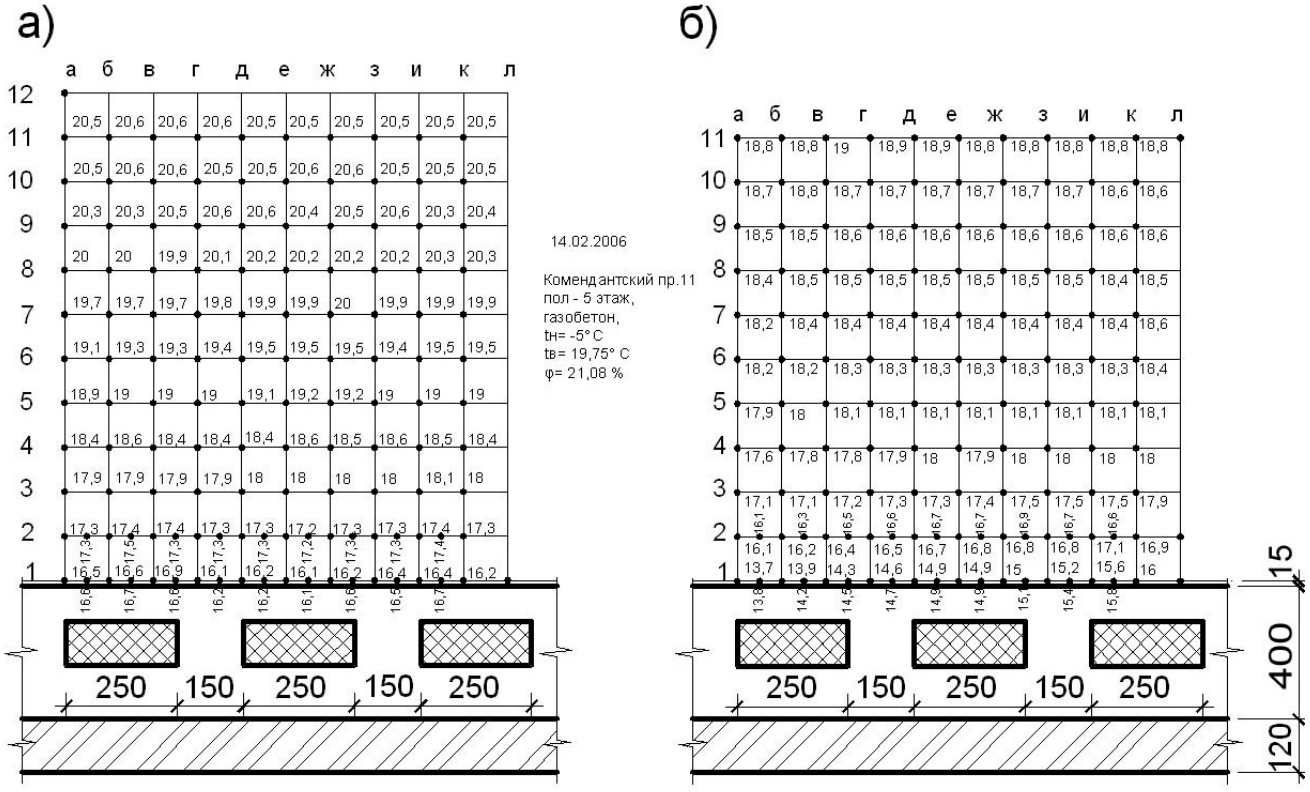
В момент проведения исследований наблюдался стационарный тепловой режим внутри помещения, который характеризует неизменность рассматриваемых теплофизических параметров со временем [19,121, 170,215,219]. Минимальная температура в уровне сопряжения стены с верхом плиты перекрытия (полом) равнялась 16.1 ºС, максимальная 16.9 ºС - для 1 ряда, (см. рисунок 2.18 а)). Температурный перепад в этом случае составлял 3.1 ºС и 3.9 ºС соответственно. Стабилизация температурных значений на уровне 18.4 ºС и 18.6 ºС наблюдалась для 4-го ряда. Значение температуры для 7 ряда, что соответствует расстоянию равному 600 мм от внутренней поверхности стены , в одной из исследуемых точек составил 20 ºС. В последующих рядах, диапазон наблюдаемых значений температур был в пределах 20 ºС.

При указанных выше температурно-влажностных параметрах, была рассмотрена нижняя грань плиты перекрытия- потолок. При этом минимальная температура в точках сопряжения верхней грани плиты перекрытия со стеной была равна 13.7 ºС, максимальная 16 ºС. Начиная с расстояния в 400 мм от стены, температура достигла требуемых нормами значений +18 ºС, при температуре наружного воздуха $t_н$ равной -5 ºС.

Для описываемого случая (см. рисунок 2.18), результаты распределения температур на поверхности плиты перекрытия для 4-го типа ограждающих конструкций представлены в виде графиков на рис. 2.19-2.20.

При обследовании 14 февраля 2006 года жилого дома на Комендантском пр. 11, выполнялись замеры температур наружного и внутреннего воздуха, а также влажность внутреннего воздуха, значения которых, соответственно составили:

$$t_н = -5\ °C,\quad t_в = 19{,}75\ °C,\quad \varphi_в = 21{,}08\ \%.$$



а) верхняя грань плиты перекрытия (пол); б) нижняя грань плиты перекрытия (потолок)

Рисунок 2.18 – Распределение температуры на рассматриваемых поверхностях плиты перекрытия (пол, потолок) 6-7 этажи 14 февраля 2006 г. при $t_н = -5^0$ С, $t_в = 19.7^0$ С (на высоте 0,5 м), в жилом доме, находящегося по адресу: г. С.-Пб, Комендантский пр.11.6-7 этаж. Диск-перекрытия -тип-4

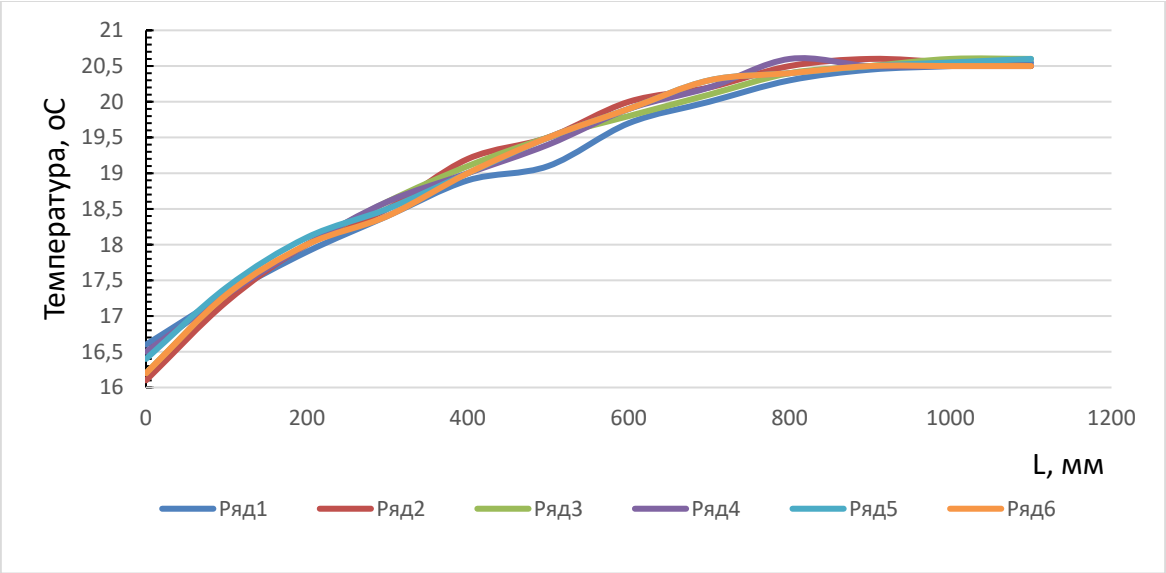


Рисунок 2.19 – Распределение температур по длине плиты перекрытия-потолок. Диск-перекрытия -тип-3 Комендантский пр. 11, 14 февраля 2006 г.

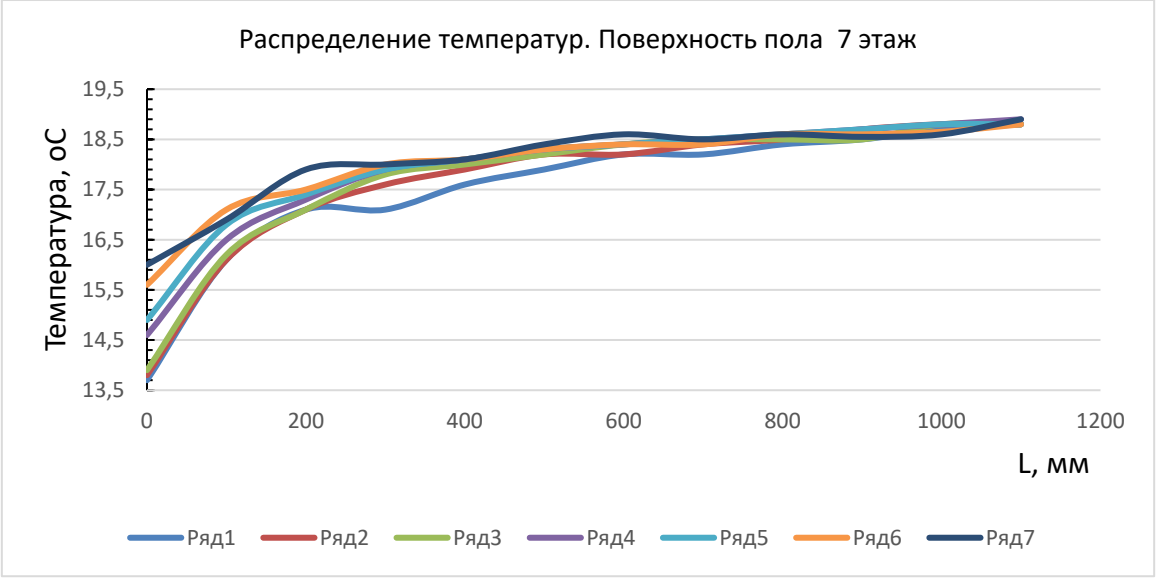


Рисунок 2.20 – Распределение температур по длине плиты перекрытия-пол. Диск-перекрытия -тип-3. Комендантский пр. 11, 14 февраля 2006 г.

Натурное обследование монолитной диска перекрытия (тип-3) (см. рисунок 2.18 б) и 2.19), при тех же параметрах микроклимата помещения в той части, где плита, относящаяся к типу-3, у которой горизонтальная поверхность является потолком, было зафиксировано:

- значения температур 1 ряда рассматриваемого участка изменялись в пределах от 16.1^0 С до 16.6^0 С, что превышает нормативные температурные перепады Δt на 3.9^0 С и 3.4^0 С соответственно.
- выравнивание температур в рассматриваемой зоне достигало нормативных значений на расстоянии 300 мм от стены. Минимальные значения при этом составляют 18.4^0 С, а максимальные 18.6^0 С, температурный перепад Δt соответственно равен 1.6^0 С и 1.4^0 С.

Исходя из анализа полученных данных, (см. рисунки 2.18 а) и 2.20) автором проводимого исследования [88, 89, 90, 91] было зафиксировано следующее:

1) Зоны сопряжения диска перекрытия с внутренней гранью стены, где плита является потолком, разброс температуры составил от 13.7° С до 16° С. Температура равная 16° С, соответствует точке 7 измеряемого ряда и это значение обусловлено влиянием на верхнюю грань плиты перекрытия стояка с центральным отоплением. Таким образом, для первого ряда минимальное значение температурного перепада Δt, определённое экспериментальным путем, отличается от нормируемого на 6.3° С , т.е. $\Delta t = (t_в - \tau_в) = (20° - 13.7°) = 6.3°$ С. Максимальное значение составляет 4° С, т.е. $\Delta t = (t_в - \tau_в) = (20° - 16°) = 4{,}0°$ С. Стоит отметить, что данный температурный перепад получен при температуре наружного воздуха $t_н$=-5 ^{0}С , тогда как расчётная температура наружного воздуха составляет $t_н$=-26 ^{0}С [9] [177].

2) На удалении 100 мм от внутренней грани наружной стены, значение температурного перепада Δt отличается от нормативного и составляет 3.9^0 С при минимальной величине температуры верхней грани плиты перекрытия равной 16.1^0 С; для максимальной температуры 17.1^0 С, значение температурного перепада Δtсоставило 2.9 ^{0} С.

3) Полное выравнивание температур до требуемых значений для верхней поверхности плиты перекрытия (пола), достигается на расстоянии 600 мм от внутренней грани стены. При этом значения температур отличаются, друг от друга на десятые доли градуса. Наименьшее и наибольшее значения равны 18.2^0 С и 18.6^0 С соответственно. Полученные результаты несколько превосходят те

[9] В соответствии со СНиП 23-01-99* действовавшим на момент обследования.

значения, которые указаны в нормах и температурные перепады Δtв этом случае составляют 1.8^0 С и 1.4^0 С.

4) Температурные значения выравниваются до величин равных $18{,}82^0$ С на расстоянии 1100 мм от внутренней грани наружной стены.

Характер распределения температур на поверхности монолитного железобетонного диска перекрытия свидетельствует о том, что верхняя часть её, выходящая со стороны фасада торцом и высотой равной 80 мм способствует образованию зон с пониженными температурами, что приводит к дискомфортным условиям проживания. Тогда как нижняя часть плиты перекрытия (потолок) заключена по глубине на 400 мм в кладку из газобетонных блоков, торцевая часть высотой 100 мм при этом закрыта слоем из лицевого кирпича, также оказывает отрицательное влияние на микроклимат помещения, но как показали результаты наблюдения в меньшей степени.

Анализируя температурные поля для фрагмента узла сопряжения диска перекрытия со стеной (см. рисунки 2.18 б)-2.19) можно сделать вывод о том, что среднее значение температурного перепада $\boldsymbol{\Delta t}$ для первого ряда (потолок) отличается от нормируемого и составляет 3.65^0 С.

В рассматриваемом здании с такой конструктивной схемой не совсем ясно, каким образом обеспечиваются требуемые условия теплового комфорта. Например, железобетонная плита перекрытия, независимо от того, имеет она теплоизолирующие вкладыши или нет, всё же является теплопроводным включением в ограждающей конструкции [160,121,154,16,94,165]. На горизонтальных поверхностях обследуемых плит перекрытий жилых помещений были выявлены зоны с пониженными температурными значениями.

В исследуемой стеновой конструкции, где в качестве теплоизолирующего слоя применялся монолитный пенобетон, не всегда выдерживалась заданная проектом эксплуатационная влажность [181], равная 12%. Отбор проб материалов стены имели отличную от проектной влажность в бóльшую сторону, что

является нарушением п.8.5. СП 23-101-2004 [189]. Так как проникновение водяных паров в толщу теплоизоляции значительно ухудшает теплопроводные характеристики материала.

Отборы проб производились из наружной стены в различных по высоте точках. На вертикальной плоскости стены шлямбуром выбирались образцы гипрока и пенобетона. Начиная от поверхности пола 6 этажа, первая проба бралась на высоте 250 мм, вторая- 1200 мм, третья 1800 мм и четвёртая – 2500 мм. Результаты такого рода исследований представлены на рисунке 2.21 и в таблицах 2.2-2.3.

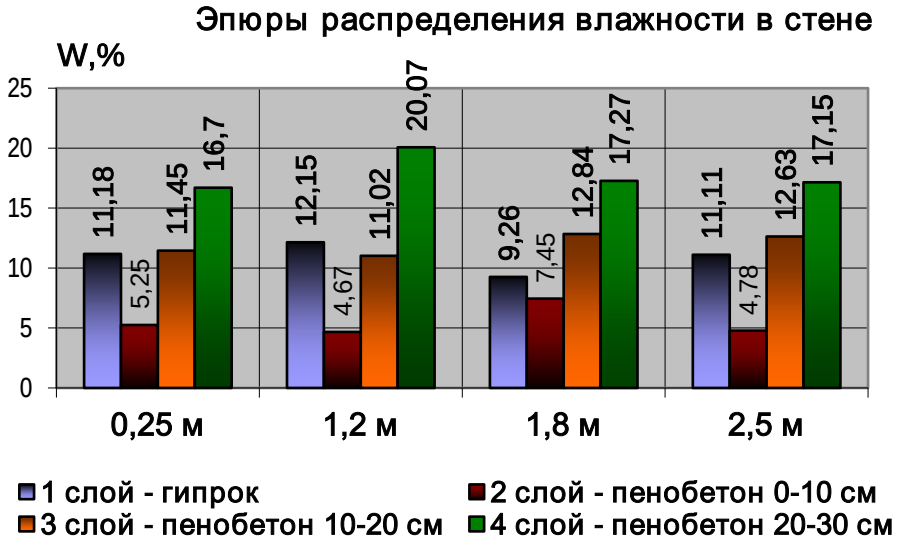


Рисунок 2.21 – Эпюры распределения влажности в толще стены

Таблица 2.2– Ведомость определения влажности образцов из стен здания, расположенного по адресу: Комендантский пр. д.11 *(пробы отобраны 03.02.2006)*

№ П\П	НАИМЕНОВАНИЕ.	№ БЮКСА	ОТБОР ПРОБ		ВЕС БЮКСА, ГР.	ВЕС БЮКСА С ВЛАЖНОЙ ПРОБОЙ, ГР.	Вес бюкса с сухой пробой, ГР.	ВЛАЖНОСТЬ МАТЕРИАЛА, W		СРЕДНЯЯ ТЕМПЕРАТУРА НА ПОВЕРХНОСТИ СТЕНЫ (ГИПРОК-КИРПИЧ)		ТЕМПЕРАТУРА ВНУТРЕННЕГО ВОЗДУХА	ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ПОМЕЩЕНИЯ	ПРИМЕЧАНИЕ
			НА ВЫСОТЕ, М	НА ГЛУБИНЕ, СМ				В дол.ед.	%	$t_{вн}^{стены}$ ^{0}C	$t_{н}^{стены}$ ^{0}C	$t_в$, ^{0}C	W,%	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Гипрок	13*	0,25	-	8,05	11,43	11,09	0,1118	11,18					
2	Гипрок	1*	1,2	-	7,00	10,23	9,88	0,1215	12,15					
3	Гипрок	2*	1,8	-	7,43	10,85	10,56	0,0926	9,26					
4	Гипрок	3*	2,5	-	5,70	9,00	8,67	0,1111	11,11					
5	Пенобетон	1	0,25	0-10	10,17	14,38	14,17	0,0525	5,25					
6	Пенобетон	2		10-20	10,04	23,37	22,00	0,1145	11,45					6 этаж
7	Пенобетон	3		20-30	9,84	26,26	23,91	0,1670	16,70	+ 5,13	- 22,3	+7,87	18,42	
8	Пенобетон	4	1,20	0-10	10,35	17,74	17,41	0,0467	4,67					
9	Пенобетон	5		10-20	10,55	22,53	21,34	0,1102	11,02					
10	Пенобетон	6		20-30	10,01	23,05	20,87	0,2007	20,07					
11	Пенобетон	7	1,80	0-10	10,37	25,64	24,58	0,0745	7,45					
12	Пенобетон	8		10-20	11,10	25,07	23,48	0,1284	12,84					
13	Пенобетон	9		20-30	10,05	27,90	25,27	0,1727	17,27					
14	Пенобетон	10	2,50	0-10	10,06	18,82	18,42	0,0478	4,78					
15	Пенобетон	11		10-20	11,35	25,26	23,70	0,1263	12,63					
16	Пенобетон	12		20-30	11,75	31,01	28,19	0,1715	17,15					

Таблица 2.3– Распределение средних влажностей по стене

Средние влажности пенобетона $W_{ср,}$ %, на отметках, м			
0,25	1,2	1,8	2,5
11,13 %	11,92 %	12,52 %	11,52 %

Зона пола, прилегающего к наружной стене, имеет температуры ниже требуемой строительными нормами. Анализируя экспериментальные данные ограждающей конструкции выполненные по типам 3-4 , можно сделать следующее заключение:

- Исследуемый узел, при температуре наружного воздуха $t_н$=-23 ^{0}C (см. рисунки 2.15, 2.16, 2.17), не обеспечивает требуемый уровень теплового комфорта для человека. В данном случае, зона пониженных температур для каждой из рассматриваемых поверхностях плиты перекрытия простирается на расстояние более чем 1200 мм;
- аналогичный вариант конструкции, выполненный по типу-4 и рассмотренный на рисунках 2.18, 2.19,2.20, при температуре наружного воздуха $t_н$= -5 ^{0}C, напротив, показал, что на расстоянии 300 мм от внутренней грани стены на поверхности пола, наблюдается выравнивание температурного поля в сторону нормативных значений. Для потолка, температурные значения, соответствующие нормативным требованиям, наблюдаются на расстоянии 400 мм, также от внутренней грани стены.

В результате проведённых исследований установлено, что температурный режим ограждающей конструкции плиты перекрытия не соответствует санитарным нормам. Использование конструктивных решений по типам 3-4 не обеспечивает требуемых значений температур на поверхности пола со стороны жилых помещений, что с позиции санитарно-гигиенических требований недопустимо.

2.4.2 Наблюдения проводимые в жилом здании, Богатырский пр. 51

В ходе натурных обследований было рассмотрено жилое здание монолитной конструкции, возведённое в Приморском районе, г. Санкт-Петербурга, и расположенное по адресу: Богатырский 51, представленное на рисунке 2.22.

Для данного случая, рассматриваемый диск перекрытия относится ко 2 типу, который представлен на рисунке 2.23.

а) наружные стеновые ограждения поэтажно опёртые на плиты перекрытия;

б) наружные железобетонные многослойные панели

Рисунок 2.22 – Общий вид фасадов монолитного здания, расположенного по адресу: Богатырский пр. 51

Исследования проводились в жилом доме на 13 этаже. Был рассмотрен наиболее неблагоприятный случай, когда железобетонный диск монолитного перекрытия, толщиной 200 мм полностью выходит торцевой частью на фасад. Рассматриваемый узел сопряжения диска перекрытия со стеной (см. рисунок 2.23) соответствует типу-2.

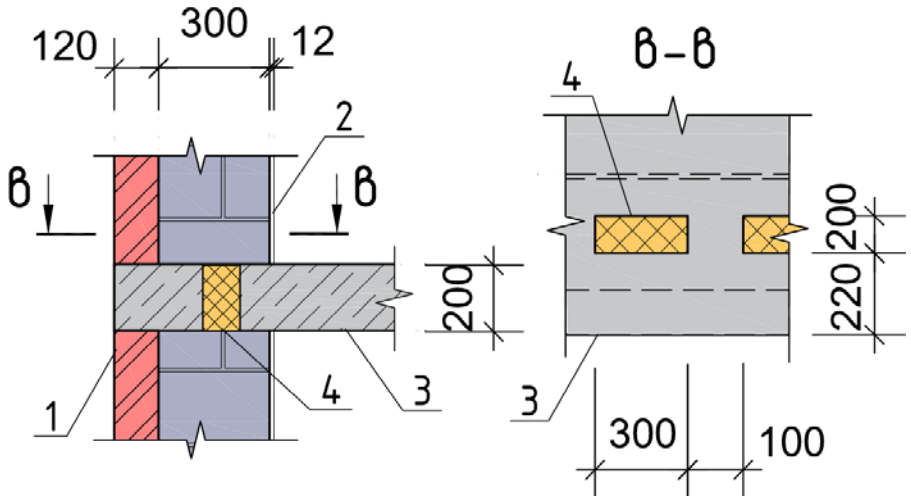


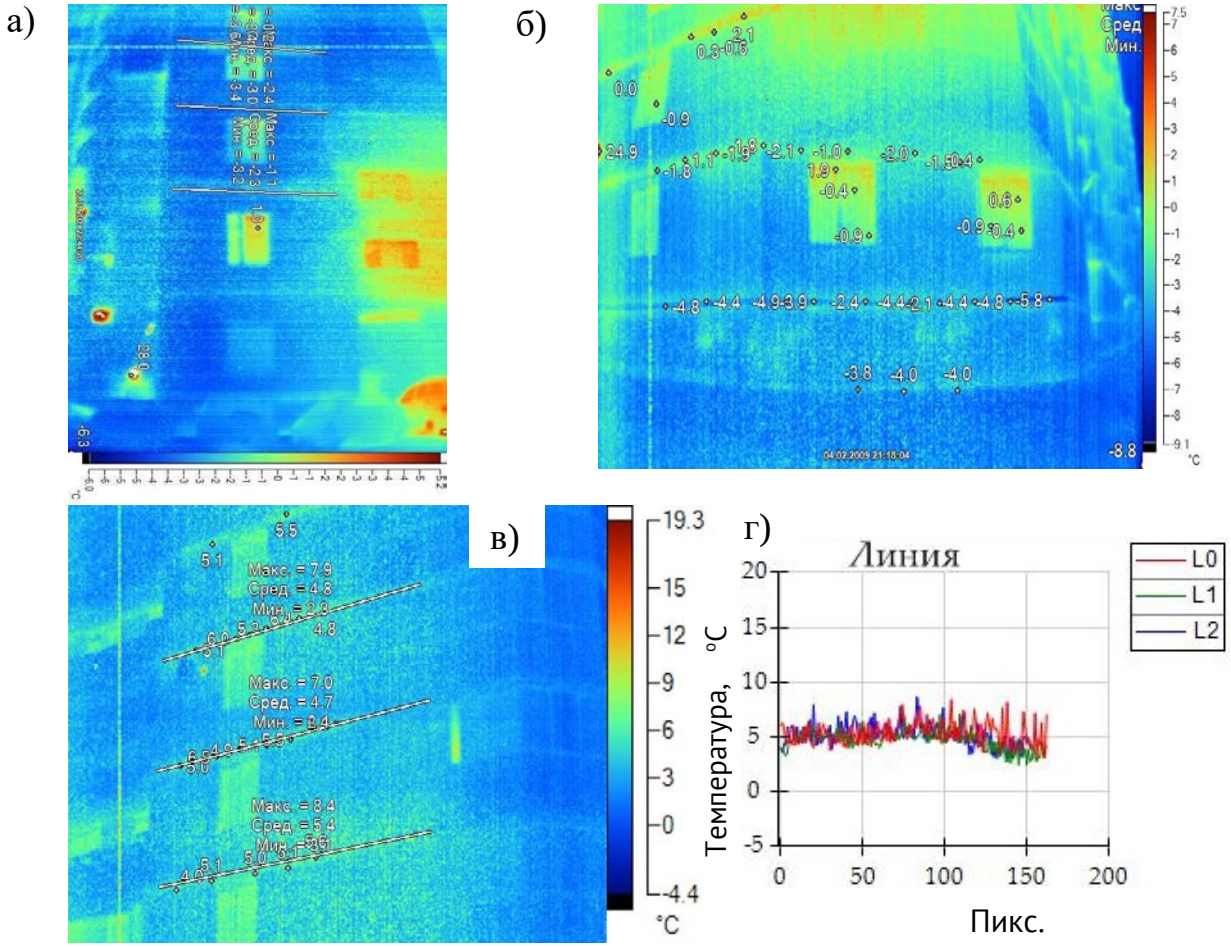
Рисунок 2.23 – Диск перекрытия с перфорацией под термовкладыши. Тип-2

Комплекс проводимых исследований также включал в себя тепловизионное обследование наружной поверхности здания. Анализируя полученные термограммы, представленные на рисунке 2.24 области повышенных температур наблюдаются в местах выхода торцов железобетонных плит перекрытий. Исследования проводились 6 февраля 2007 г. при следующих параметрах внешней и внутренней среды: $t_н$= –18 °С, $t_в$ =18,2 °С, $\varphi_в$=19,7 %. Температурные изменения были определены при помощи термографа суточного и термометров ртутных. Результаты суточного хода температур наружного и внутреннего воздуха отображены на графике (см. рисунок 2.25).

Результаты замеренных значений температурного поля диска перекрытия показаны на рисунке 2.26. Их обработка выведена в виде графиков, представленных на рисунках 2.27-2.28, которые характеризуют диапазон распределения температурных полей и наглядно демонстрируют зоны пониженных температур на поверхности плиты. Например, на поверхности плиты перекрытия, где она является потолком (см. рис. 2.26 б)), разброс температур в первом ряду составил: минимальное значение 10,75^{0}С, максимальное 11,5^{0}С, температурный перепад Δt при этом был равен 9,25^0 С и 8,5^0 С соответственно. Во втором ряду, минимальное и максимальное значения температур были равны 11,5^{0}С и 12,5^{0}С. Температурный перепад Δt при этом составил 8,5^0 С и 7, 5^0 С соответственно.

В последующих рядах, тенденция к увеличению роста температуры сохраняется. Приращение температуры для каждого ряда в среднем колебалась и составляла от 1,3^0 С до 0,15 ^{0} С соответственно.

По глубине исследуемого участка монолитной плиты перекрытия, зона пониженных температур сохранялась, так и не достигнув своего максимума до нормируемых значений. На всём протяжении рассматриваемого участка, равного 1200 мм, минимальное значение температуры для 13 ряда составило 17,5^0 С, а для максимального 17,9^{0}С.



а), б) термограммы фасада со стороны Богатырского пр.; в) термограммы фасада со стороны двора; г) график температур со стороны диска перекрытия

Рисунок 2.24 – Термограммы фрагмента фасада здания

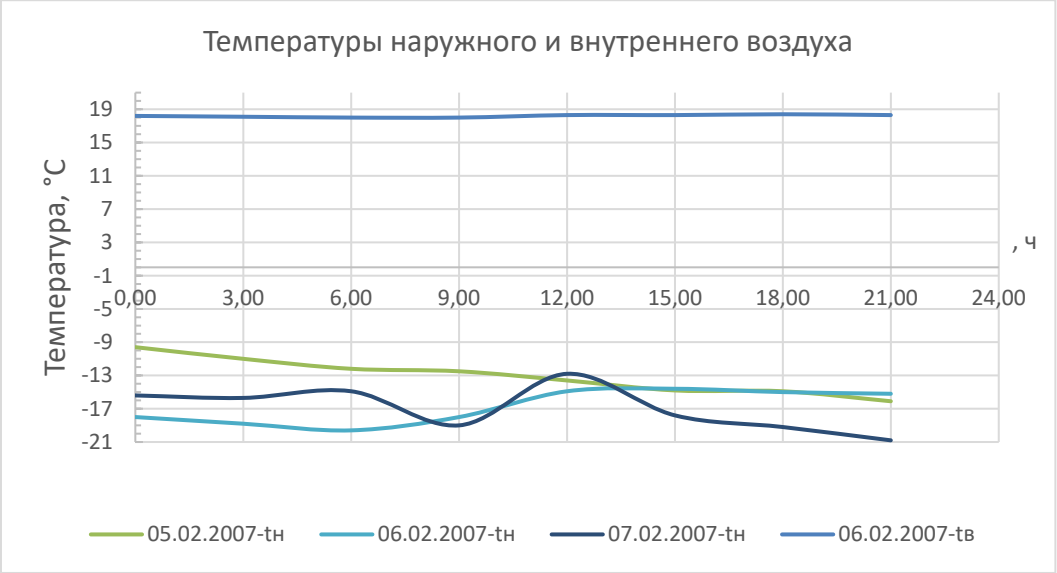
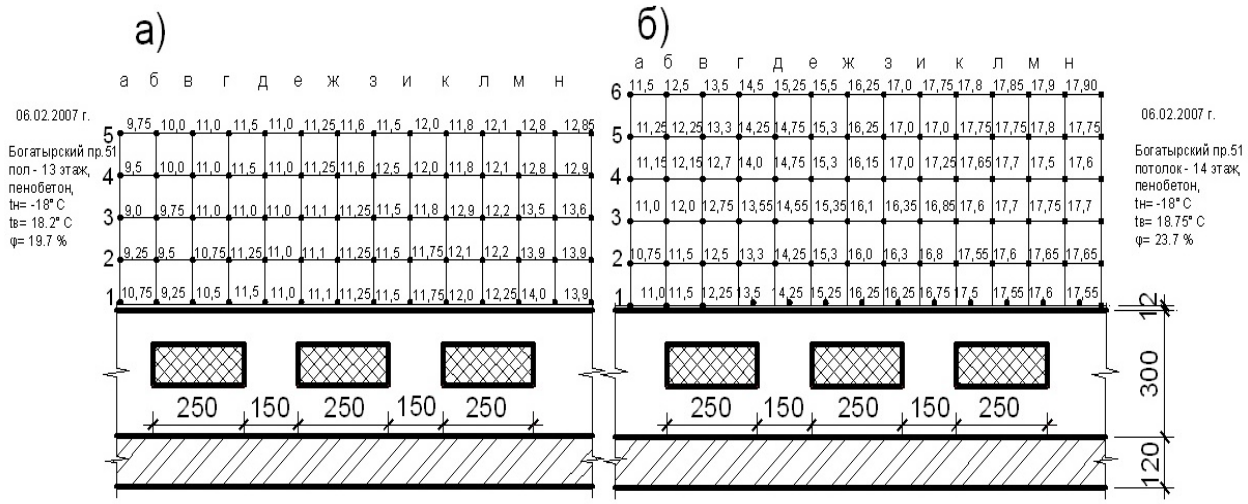


Рисунок 2.25 – Суточный ход температур наружного и внутреннего воздуха



а) верхняя грань плиты перекрытия (пол); б) нижняя грань плиты перекрытия (потолок)

Рисунок 2.26 – Тип 2. Распределение температуры на поверхности плиты перекрытия: Богатырский пр. 51, 6 февраля 2007 г.

В целом, расхождение температурного перепада Δt по 13 ряду по сравнению с нормативной температурой составило: минимальное значение $0{,}45^0$ С и максимальное $0{,}1^0$ С. В абсолютном значении, эти данные равны соответственно $2{,}1^0$ С и $2{,}45^0$ С. На поверхности плиты перекрытия, где она является полом, разброс температур в первом ряду составил: минимальное значение 9.75^0С, максимальное $10{,}75^0$С, температурный перепад Δt при этом был равен $10{,}25^0$ С и $9{,}25^0$ С соответственно.

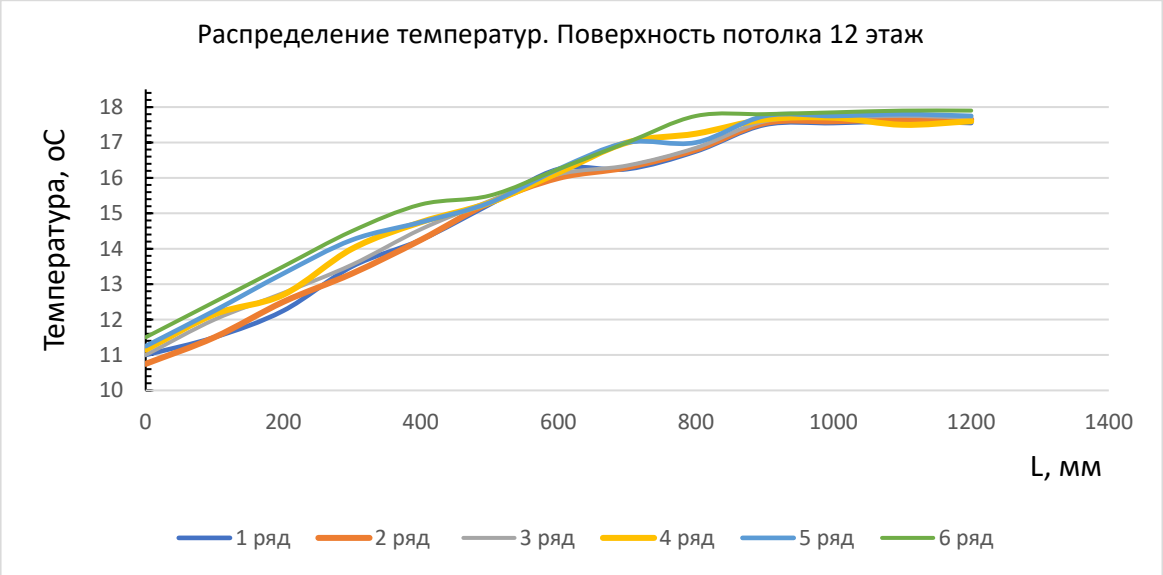


Рисунок 2.27 – Распределение температур по длине плиты перекрытия-потолок. Диск-перекрытия -тип-2, 12 этаж

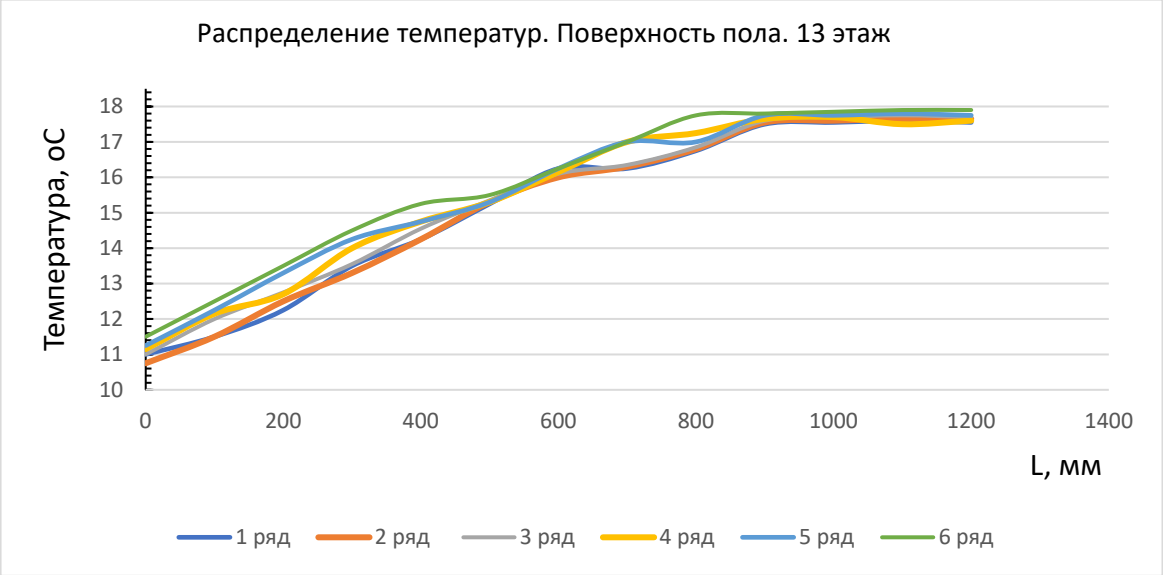


Рисунок 2.28 – Распределение температур по длине плиты перекрытия-пол. Диск-перекрытия -тип-2 , 13 этаж

Во втором ряду, минимальное и максимальное значения температур были равны $9{,}25^0$C и 10^0C. Температурный перепад Δt при этом составил $10{,}25^0$ C и 10^0 C соответственно.

В последующих рядах, тенденция к увеличению роста температуры несущественно наблюдается. Приращение температуры для каждого ряда в среднем колебалась и составляла от $0{,}2^0$ C до 0,35 C. Со 2-го по 7-ой ряд температура в пределах 11^0 C изменяется на десятые доли градуса. С 11-го по 13-ый ряд скачок более явный. При этом минимальное значение для 11 ряда составило $12{,}1^0$ C, максимальное $12{,}25^0$ C.

По глубине исследуемого участка монолитной плиты перекрытия, зона пониженных температур сохранялась, так и не достигнув своего максимума до нормируемых значений. На всём протяжении рассматриваемого участка, равного 1200 мм, минимальное значение температуры для 13 ряда составило $12{,}85^0$ С, а для максимального $13{,}9^0$С.

В целом, расхождение температурного перепада Δt по 13 ряду по сравнению с нормируемым составило: минимальное значение $5{,}15^0$ С и максимальное $4{,}1^0$ С. В абсолютном значении, эти данные равны соответственно $7{,}15^0$ С и $4{,}45^0$ С.

2.5. Выводы по главе

Таким образом, на основании данных визуального и детального теплотехнического обследования и проводимых экспериментальных исследований, для узлов сопряжения диска перекрытия со стеной, можно отметить следующее:

1) здания возведённые по этой технологии выполнены с конструктивными дефектами и для нормализации микроклимата помещений требуется разработка решения по ликвидации влияния «мостика холода»;

2) рассматриваемые типы плит перекрытий уязвимы в теплотехническом отношении: не соответствуют требованиям нормативных документов по обеспечению санитарно-гигиенических температур в помещениях.

3) выявлена зона пониженных температур на поверхности железобетонного диска перекрытия, которая не удовлетворяет нормативным требованиям [166, 178][10].

С учётом полученных результатов на следующем этапе исследования принято решение построить математическую модель и выполнить численный эксперимент трёхмерной модели узла сопряжения диска перекрытия со стеной и проверкой их на соответствии требуемым эксплуатационным качествам.

---

[10] Этими документами устанавливается нормируемый температурный перепад между температурами внутри помещения и поверхностью пола (перекрытия) 2 °С. Однако, таблицей 5.29 СанПиН 1.2.3685-21 [166] данный перепад ограничен только обслуживаемой зоной, исключающей расстояние равное 500 мм от внутренних поверхностей наружных и внутренних стен. Для малогабаритных квартир, жилой площадью менее 30 м^2 подобное условие не выполнимо.

Глава 3. Расчётно-теоретическое исследование конструктивных узлов зданий

3.1 Разработка методики исследований узлов сопряжения плиты перекрытия со стеной

В настоящем разделе исследуются эксплуатационные качества, рассмотренных во 2-ой главе узлов сопряжения диска перекрытия со стеной, относящихся к типу-1, типу-2, типу-3, типу-4 – как наиболее распространённые в строительной практике на территории С-Петербурга, классифицируемые по СП 230.1325800 [187], как неоднородные конструкции.

Основными задачами этой главы, реализуемыми при помощи автоматизированных средств исследования, являются: выявление теплотехнической уязвимости существующих типов узлов сопряжения диска перекрытия с наружными ограждающими конструкциями монолитных зданий, формулирование путей рационального поиска таких типов конструктивных решений, которые призваны обеспечить и создать безопасные и комфортные условия для проживания людей.

Выполнение расчётов осуществлялось методом конечных элементов. Решение поставленных задач в объёмной постановке было реализовано на базе двух программных комплексов – COSMOS/M и ANSYS 2021. В первом случае – в программном комплексе COSMOS/M, предусматривался цикл моделирования и расчёта в термальном модуле COSMOS/FFE [59]. Во втором – анализ температурных полей узлов сопряжения диска перекрытия со стеной проводился в программном комплексе ANSYS 2021 с использованием модуля Steady-State Thermal. В обоих случаях решение поставленных задач осуществлялось на основе уравнений теплопроводности.

Для достижения поставленных задач, по каждому типу узла сопряжения диска перекрытия со стеной была построена соответствующая трёхмерная модель, у которой варьировались некоторые климатические, теплофизические и геометрические параметры. Расчёты проводились с учётом стационарных условий. При назначении климатических и теплофизических параметров и характеристик материалов, автор руководствовался данными, изложенными в СП 131.13330, СП 50.13330 [183, 193].

Кроме того, варьировались значения наружной и внутренней температур воздуха. Для каждого конкретного типа конструктивного решения задавались согласно приложению Т из СП 50.13330 [193] необходимые теплофизические характеристики материалов. К границам каждой из областей расчётной модели, контактирующих с внешней и внутренней средами были приложены, соответствующие граничные условия, включающие температуры воздуха и коэффициенты теплоотдачи, в соответствии с СП 131.13330, СП 23-101-2004, СП 50.13330 [183,189, 193].

В связи с тем, что монолитные здания эксплуатируются в различных климатических районах, целесообразно к рассматриваемым типам конструктивных решений применить комплексный подход, с учётом влияния наружных температур на тепловую защиту зданий, напряжённо-деформированное состояние конструкции и обеспечения требуемых параметров. Для оценки воздействия наружных температур в холодный период года на параметры внутренней среды обитания человека и определения глубины их влияния на температурное поле ограждающих конструкций, со стороны внешней среды были заданы температуры в диапазоне от 0℃ до минус 50 ℃. Для условий Санкт-Петербурга граничные условия внешней среды были назначены в соответствии с СП 131.13330 [183], значение наружной температуры воздуха в обеспеченностью 0,92 составило $t_{\text{н}}^{0,92} = -24$ ℃. Температура внутреннего воздуха $t_{\text{в}}$ была назначена равной 20 ℃. Значения коэффициентов теплоотдачи на наружной $\alpha_{\text{н}}$ и внутренней $\alpha_{\text{в}}$ поверхностях задавались соответственно равными 23 Вт/(м^2·℃) и 8,7 Вт/(м^2·℃).

Далее, при помощи уравнения тепломассообмена, приводится математическое описание узла сопряжения диска перекрытия со стеной, являющегося фрагментом теплозащитной оболочки здания. Подобные вопросы также были рассмотрены в исследованиях, проводимые Козлобродовым А.Н., Ивановой Е.А., Головко А.В., однако, приводимые ими уравнения носили обобщённый характер [79].

Для рассматриваемых конструктивных решений была разработана математическая модель, описывающая температурные поля в стационарных условиях в трёхмерной постановке с последующим её решением численными методами в программных комплексах COSMOS/M и ANSYS.

3.2 Математическое моделирование температурных полей предлагаемых узлов сопряжения диска перекрытия со стеной

Распределение температуры в сплошной среде описывается уравнением теплопроводности Фурье, которое в достаточно общем виде может быть записано как [96]:

$$\frac{\partial}{\partial t} C\rho T(M,t) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda \frac{\partial T(M,t)}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda \frac{\partial T(M,t)}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda \frac{\partial T(M,t)}{\partial z}\right) + Q(M,t), \quad (3.1)$$

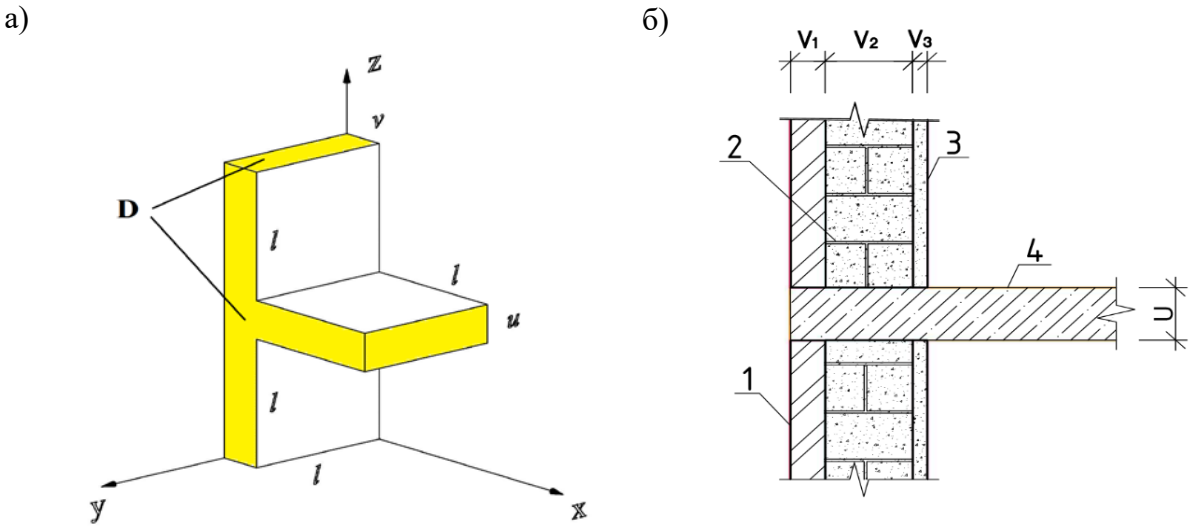
где x, y, z – пространственные координаты; $M(x,y,z)$ – точка пространства или среды; $T(M,t)$ – температура среды; C – удельная теплоёмкость среды; ρ – плотность среды; λ – коэффициент теплопроводности среды; $Q(M,t)$ – объемная плотность мощности тепловых источников. Значения C, ρ и λ в общем случае также могут зависеть от M и t.

При изучении энергоэффективности ограждающих конструкций гражданских и промышленных зданий наибольший интерес представляет установившееся и неизменное во времени температурное поле, а значит $T(M,t)=T(M)$. Кроме того, ограждающие конструкции, как правило, не содержат внутренних источников тепла, то есть $Q(M,t)=0$. Таким образом, температурное поле в ограждающих конструкциях может быть описано трехмерным стационарным уравнением теплопроводности, полученным из уравнения (3.1) при учете отмеченных выше допущений:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda \frac{\partial T(M)}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda \frac{\partial T(M)}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda \frac{\partial T(M)}{\partial z}\right) = 0, \quad (3.2)$$

Для описания температурного поля в узле сопряжения диска перекрытия со стеной на основе уравнения (3.2) формулируется краевая задача, которая помимо уравнения включает в себя внешние граничные условия и внутренние граничные условия (условия сопряжения). Геометрия узла, для которого записываются граничные условия, представлена на рисунке 3.1 а). Значение l – константа, определяющая размер фрагмента узла, u – толщина диска перекрытия, v – толщина стены.

Расчетная схема для простейшей экспериментально исследованной конструкции узла сопряжения диска перекрытия представлена на рисунке 3.1 б). Пренебрегая незначительными по толщине слоями штукатурки и цементного раствора, отмечаем на схеме три материала, имеющих разный коэффициент теплопроводности: кирпичная кладка (λ_1), ячеистый бетон (λ_2) и железобетон (λ_3).



а) трёхмерная расчетная схема; б) внутренняя структура узла
1 – лицевой слой кирпичной кладки; 2 – кладка из ячеистого бетона; 3 – внутренний отделочный слой; 4– железобетонный диск перекрытия

Рисунок 3.1 – Схема расположения узла сопряжения диска перекрытия со стеной

Условия сопряжения в случае идеального теплового контакта на границе двух сред описываются граничными условиями IV рода [96]:

$$\lambda_i \frac{\partial T_i(M,t)}{\partial n}\overrightarrow{l_n} = \lambda_j \frac{\partial T_j(M,t)}{\partial n}\overrightarrow{l_n}, \qquad T_i(M,t) = T_j(M,t), \tag{3.3}$$

где $\overrightarrow{l_n}$ – вектор нормали к поверхности ограждающей конструкции;

λ_i и λ_j –теплопроводность i и j среды соответственно;

$T_i(M,t)$ и $T_j(M,t)$ – распределение температуры в i и j среде соответственно.

Для принятой расчетной схемы (см. рисунок 3.1 б)) условия сопряжения имеют вид:

$$\begin{cases} \lambda_1 \dfrac{\partial T_1(M)}{\partial x} = \lambda_2 \dfrac{\partial T_2(M)}{\partial x},\ T_1(M) = T_2(M),\ при\ x = v_1,\ y \in [0,l],\ z \in [0,l], \\ \lambda_2 \dfrac{\partial T_2(M)}{\partial x} = \lambda_3 \dfrac{\partial T_3(M)}{\partial x},\ T_2(M) = T_3(M),\ при\ x = v_1 + v_2,\ y \in [0,l],\ z \in [l, l+u], \\ \lambda_2 \dfrac{\partial T_2(M)}{\partial z} = \lambda_3 \dfrac{\partial T_3(M)}{\partial z},\ T_2(M) = T_3(M),\ при\ x \in [v_1 + v_2, v],\ y \in [0,l],\ z = l, \\ \lambda_2 \dfrac{\partial T_2(M)}{\partial z} = \lambda_3 \dfrac{\partial T_3(M)}{\partial z},\ T_2(M) = T_3(M),\ при\ x \in [v_1 + v_2, v],\ y \in [0,l],\ z = l + u, \end{cases} \quad (3.4)$$

Теплообмен узла сопряжения с окружающей средой осуществляется за счет конвекции [219] и описывается граничными условиями III рода [96]. В общем виде они записываются как (3.5):

$$\lambda \frac{\partial T(M,t)}{\partial n} \overrightarrow{l_n} = \alpha (T(M,t) - T_o), \quad (3.5)$$

где α – коэффициент теплообмена между окружающей средой и поверхностью ограждающей конструкции; T_o – температура окружающей среды, находящейся в контакте с ограждающей конструкцией.

Теплообмен с окружающей средой узла сопряжения происходит в стене через наружные плоскости, параллельные плоскости *yOz* и в диске перекрытии через наружные плоскости, параллельные плоскости *xOy* (рисунок 3.1 а)). Остальные наружные поверхности в расчетной схеме считаем теплоизолированными, на их поверхности задаются граничными условия II рода [96] (3.6):

$$\lambda \frac{\partial T(M,t)}{\partial n} \overrightarrow{l_n} = q(M,t) \quad (3.6)$$

где $q(M,t)$ – величина теплового потока через наружную плоскость. При этом величина теплового потока принимается $q(M,t)=0$.

Таким образом, для изучаемого фрагмента ограждающей конструкции (рисунок 3.1 а)) внешние граничные условия включают условия III рода, описывающие теплообмен узла сопряжения с окружающей средой (3.7), и условия II рода, описывающие отсутствие теплообмена через боковые поверхности (3.8).

$$\begin{cases} \lambda_1 \dfrac{\partial T_1(M)}{\partial x} = \alpha_{o1}(T_1(M) - T_{o1}),\ при\ x = 0,\ y \in [0, l],\ z \in [0, 2l + u], \\ \lambda_2 \dfrac{\partial T_2(M)}{\partial x} = \alpha_{o2}(T_2(M) - T_{o2}),\ при\ x = v,\ y \in [0, l],\ z \in [0, l], \\ \lambda_2 \dfrac{\partial T_2(M)}{\partial x} = \alpha_{o2}(T_2(M) - T_{o2}),\ при\ x = v,\ y \in [0, l],\ z \in [l + u, 2l + u], \\ \lambda_3 \dfrac{\partial T_3(M)}{\partial z} = \alpha_{o2}(T_3(M) - T_{o2}),\ при\ x \in [v, v + l],\ y \in [0, l],\ z = l, \\ \lambda_3 \dfrac{\partial T_3(M)}{\partial z} = \alpha_{o2}(T\,_3(M) - T_{o2}),\ при\ x \in [v, v + l],\ y \in [0, l],\ z = l + u, \end{cases} \tag{3.7}$$

$$\begin{cases} \lambda_1 \dfrac{\partial T_1(M)}{\partial z} = 0,\ при\ x \in [0, v_1],\ y \in [0, l],\ z = 0, \\ \lambda_2 \dfrac{\partial T_2(M)}{\partial z} = 0,\ при\ x \in [v_1, v],\ y \in [0, l],\ z = 0, \\ \lambda_1 \dfrac{\partial T_1(M)}{\partial z} = 0,\ при\ x \in [0, v_1],\ y \in [0, l],\ z = 2l + u, \\ \lambda_2 \dfrac{\partial T_2(M)}{\partial z} = 0,\ при\ x \in [v_1, v],\ y \in [0, l],\ z = 2l + u, \\ \lambda_1 \dfrac{\partial T_1(M)}{\partial y} = 0,\ при\ x \in [0, v_1],\ y = 0,\ z \in [0, 2l + u], \\ \lambda_2 \dfrac{\partial T_2(M)}{\partial y} = 0,\ при\ x \in [v_1, v_1 + v_2],\ y = 0,\ z \in [0, 2l + u], \\ \lambda_3 \dfrac{\partial T_3(M)}{\partial y} = 0,\ при\ x \in [v_1, v_1 + v_2],\ y = 0,\ z \in [0, 2l + u], \\ \lambda_1 \dfrac{\partial T_1(M)}{\partial y} = 0,\ при\ x \in [0, v_1],\ y = l,\ z \in [0, 2l + u], \\ \lambda_2 \dfrac{\partial T_2(M)}{\partial y} = 0,\ при\ x \in [v_1, v_1 + v_2],\ y = l,\ z \in [0, 2l + u], \\ \lambda_3 \dfrac{\partial T_3(M)}{\partial y} = 0,\ при\ x \in [v_1, v_1 + v_2],\ y = l,\ z \in [0, 2l + u], \\ \lambda_3 \dfrac{\partial T_3(M)}{\partial y} = 0,\ при\ x \in [v, v + l],\ y = 0,\ z \in [l, l + u], \\ \lambda_3 \dfrac{\partial T_3(M)}{\partial y} = 0,\ при\ x \in [v, v + l],\ y = l,\ z \in [l, l + u], \\ \lambda_3 \dfrac{\partial T_3(M)}{\partial y} = 0,\ при\ x = v + l,\ y \in [0, l],\ z \in [l, l + u]. \end{cases} \tag{3.8}$$

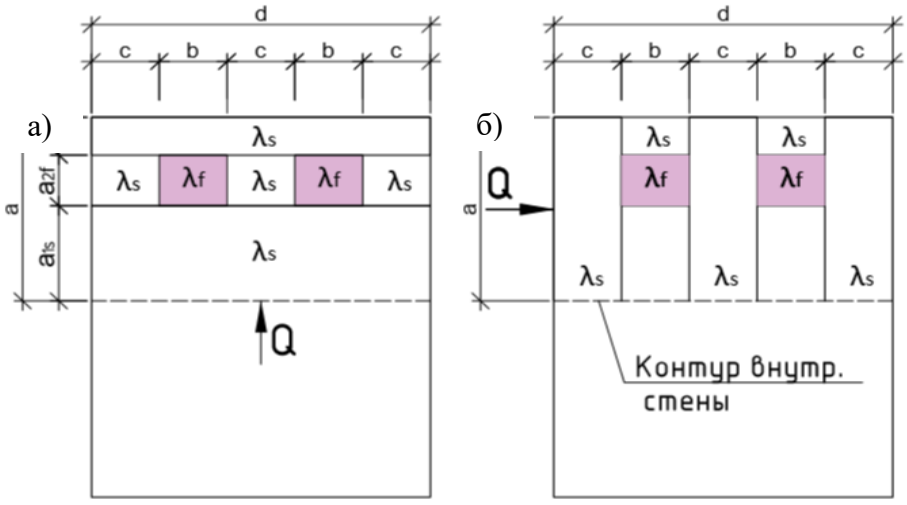
Уравнение теплопроводности для каждого из слоёв будет иметь вид (3.7), а значит, модель будет содержать три уравнения теплопроводности:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_i \frac{\partial T_i(M)}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_i \frac{\partial T_i(M)}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_i \frac{\partial T_i(M)}{\partial z}\right)=0,\ i=\overline{1,4} \qquad (3.9)$$

Предлагаемая математическая модель для рассматриваемого узла сопряжения диска перекрытия со стеной, описывающая температурные поля включает в себя трёхмерные стационарные уравнения теплопроводности (3.9), внешние (3.7)-(3.8) и внутренние (3.4) граничные условия.

3.2.1 Определение эффективной теплопроводности фрагмента диска перекрытия с перфорацией под термовкладыши

Математическая модель (3.1)-(3.9), описывающая распределение температурных полей в базовом варианте узла сопряжения диска перекрытия со стеной, на дальнейших этапах взята за основу для формирования расчётных исследований в программных комплексах COSMOS/2M, ANSYS, реализующих методы конечных элементов. Рассматриваемые уравнения (3.2)-(3.9) лежат в основе базовой модели, модификация которых используется для моделирования более сложных узлов, например сопряжения диска перекрытия с перфорацией и наружных стеновых ограждений. В этом случае, в целях упрощения вычислений реальная неоднородная плита перекрытия с перфорацией может быть заменена на однородную с эффективной теплопроводностью. На рисунке 3.2 представлен фрагмент теплозащитной оболочки здания в виде диска перекрытия, имеющего регулярную перфорацию под термовкладыши. Для определения эффективной теплопроводности λeff из рассматриваемого фрагмента выделим зоны, ограниченные геометрическими параметрами a и d.



а) Разбивка параллельно тепловому потоку;
б) Перпендикулярно тепловому потоку

Рисунок 3.2. Схема разбивки неоднородного участка ограждающей конструкции на отдельные фрагменты

Где величины a и d - это границы контакта плоскости выделенного фрагмента теплозащитной оболочки с наружной и внутренней средами, соответственно.

При этом, количество однородных участков соответствует выбранному направлению теплового потока Q. В основе предлагаемого способа определения эффективной теплопроводности лежит метод Р. Сингха [248], подход которого адаптирован для частного случая в виде фрагмента диска перекрытия, снабжённого перфорацией (пустотами) под термовкладыши. Рассмотрим теплопроводность участка для фрагмента плиты, когда тепловой поток направлен перпендикулярно слоям (рисунок 3.2 а)):

$$\lambda_{\perp} = \left(\frac{\varphi}{\lambda_f} + \frac{(1-\varphi)}{\lambda_s}\right)^{-1}, \tag{3.10}$$

$$\varphi = \frac{V_f}{V_f + V_s} = \frac{S_f}{S_f + S_s} \tag{3.11}$$

где φ – объёмная доля перфорации (пустот);

λ_f, λ_s – теплопроводность материалов соответственно железобетонного диска перекрытия и термовкладышей Вт/(м·°С).

Из (3.11) получаем:

$$\varphi = \frac{a_{2f}}{a} \tag{3.12}$$

Из (3.10) получаем:

$$\lambda_{e1} = \lambda = \left(\frac{a_{2f}}{a \cdot \lambda_f} + \frac{a - a_{2f}}{a \cdot \lambda_s}\right)^{-1}, \tag{3.13}$$

$$\lambda_{\parallel} = \varphi \cdot \lambda_f + (1-\varphi) \cdot \lambda_s, \tag{3.14}$$

Тогда

$$\lambda_{eff} = \lambda_{\parallel} = \left[\frac{b}{b+c} \cdot \left(\frac{a_{2f}}{a \cdot \lambda_f} + \frac{a - a_{2f}}{a \cdot \lambda_s}\right)^{-1} + \frac{c}{b+c} \cdot \lambda_s\right], \tag{3.15}$$

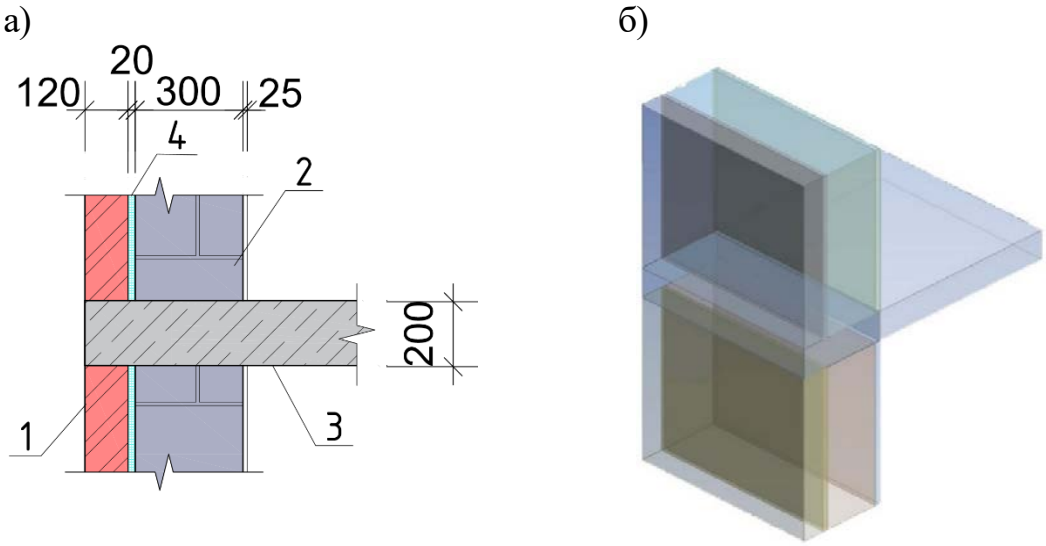
Инженерный способ расчёта, описываемый формулами (3.10- 3.15), позволяет определить эффективную теплопроводность неоднородных конструкций для узлов сопряжения диска перекрытия со стеной, содержащих перфорацию под термовкладыши, относящихся к типам-2,4. По предлагаемому способу в соавторстве с Дёминым А.М. была разработана программа для ЭВМ №2022669823 от 25.10.2022 г.

3.3 Решение температурных полей конструктивных узлов сопряжения дисков перекрытий со стеной

Рассматриваются узлы сопряжения дисков перекрытий со стеной, получившие наибольшее распространение в строительной практике на территории г. Санкт-Петербурга. Принятые для расчёта конструктивные решения представляют собой фрагмент железобетонного монолитного перекрытия с поэтажно опёртыми наружными ограждающими конструкциями. Каждый из рассматриваемых вариантов имеет свои конструктивные особенности, описание которых следует далее.

3.3.1 Узел сопряжения диска перекрытия со стеной. Тип-1

Конструктивное решение, относящееся к типу-1 представлено на рисунке 3.3.



а) узел сопряжения диска перекрытия со стеной; б) расчётная модель
1-лицевой слой- пустотелый кирпич; 2- ячеистый бетон;
3-диск перекрытия; 4- воздушный зазор

Рисунок 3.3 – Тип-1. Узел сопряжения диска перекрытия со стеной

В таблице 3.1 представлены характеристики материалов, принятые к расчёту. На рисунке 3.4 представлен в общем виде характер распределения температурных полей на поверхностях рассматриваемого фрагмента ограждающей конструкции.

Таблица 3.1- Теплофизические характеристики материалов, принятых к расчёту для типа-1

№ п/п	Наименование материала	Плотность γ, кг/м^3	Удельная теплоёмкость C_0, кДж/(кг· ^{0}C)	Теплопроводность $\lambda_Б$, Вт/(м· ^{0}C)	Тепло-усвоение $S_Б$, Вт/(м^2· ^{0}C)	Толщина δ, м
1	Кирпич	1800	0,88	0,81	10,12	0,12
2	Ячеистый бетон, D600	600	0,84	0,16	1,95	0,3
3	Железобетон	2500	0,84	2,04	18,95	0,2
4	Воздушный зазор[11]					0,02
5	Штукатурный раствор	800	0,84	0,81	3,66	0,025

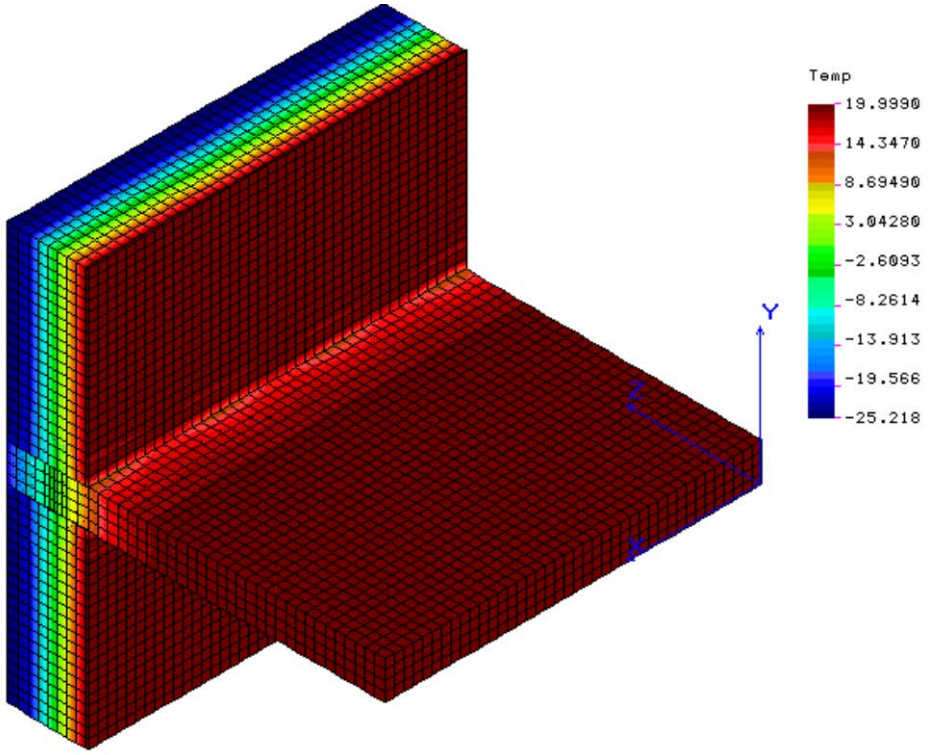


Рисунок 3.4 – Тип-1. Результаты расчёта температурных полей

Результаты выполненных расчётов представлены в виде графика на рисунке 3.5. На данном графике представлены температурные кривые для участка длиной

[11] Для всех рассматриваемых типов узлов сопряжения диска перекрытия со стеной, свойства материала и физические параметры (вещественные константы) задавались через встроенные команды меню PROPSETS

1,465 м, включающей общую толщину наружного ограждения – 465 мм и длину поверхности перекрытия – 1 м.

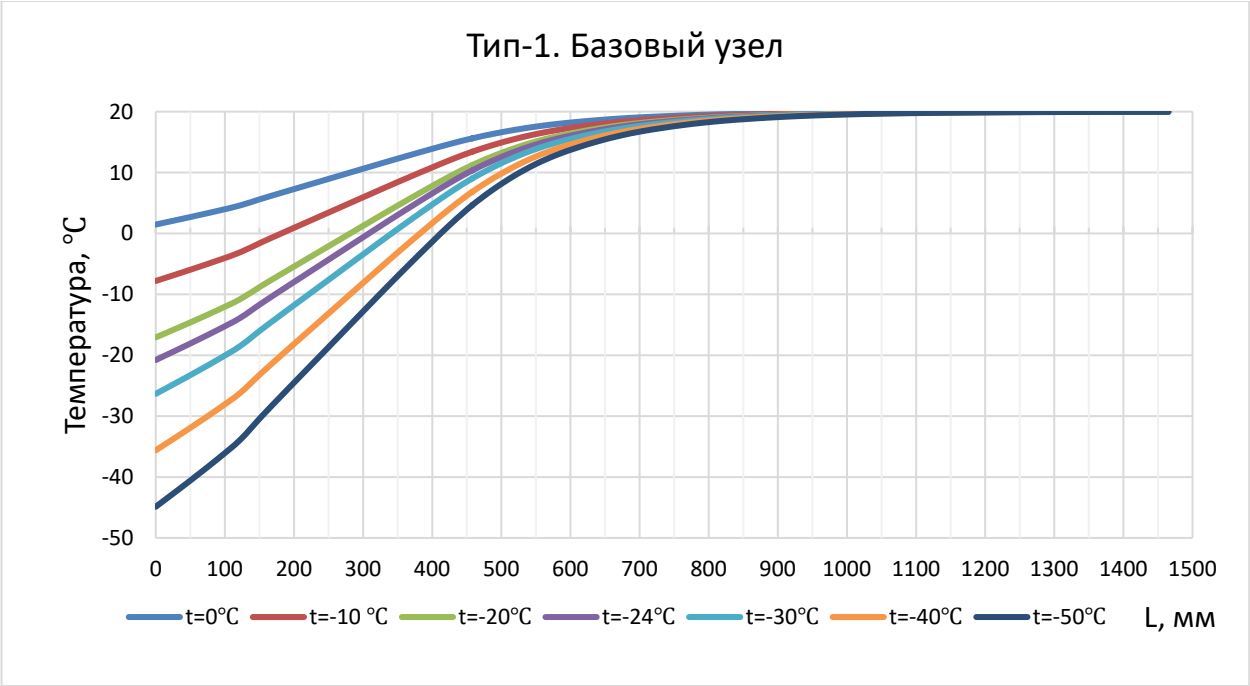


Рисунок 3.5 – Распределение температурных полей по длине диска перекрытия. Тип-1

Характер распределения температурного поля по горизонтальной поверхности диска перекрытия свидетельствует о том, что зона пониженных температур от внутренней поверхности наружного ограждения находится в пределах границ обслуживаемой зоны (зоны обитания), величина которой составляет 0,5 м. [38, 195]. Более детально, с учётом перепада температур наружного воздуха Δt= 10 °С, на рисунке 3.6 представлен график для фрагмента исследуемого участка диска перекрытия. Нормируемый температурный перепад Δt между температурами внутреннего воздуха ($t_в$=20 °С) и горизонтальной поверхностью перекрытия, являющейся полом (потолком) составляет 2 °С, означающий, что температура поверхности пола, в данном случае, должна составлять 18 °С. Как это следует из графиков, нормативное значение температуры достигается каждой температурной кривой на расстояниях 0,11; 0,18; 0,22; 0,24; 0,26; 0,28; 0,31 м от внутренней поверхности наружного ограждения при температурах наружного воздуха соответственно равных 0 °С,-10 °С, -20°С,-24°С, -30°С, -40°С, -50°С.

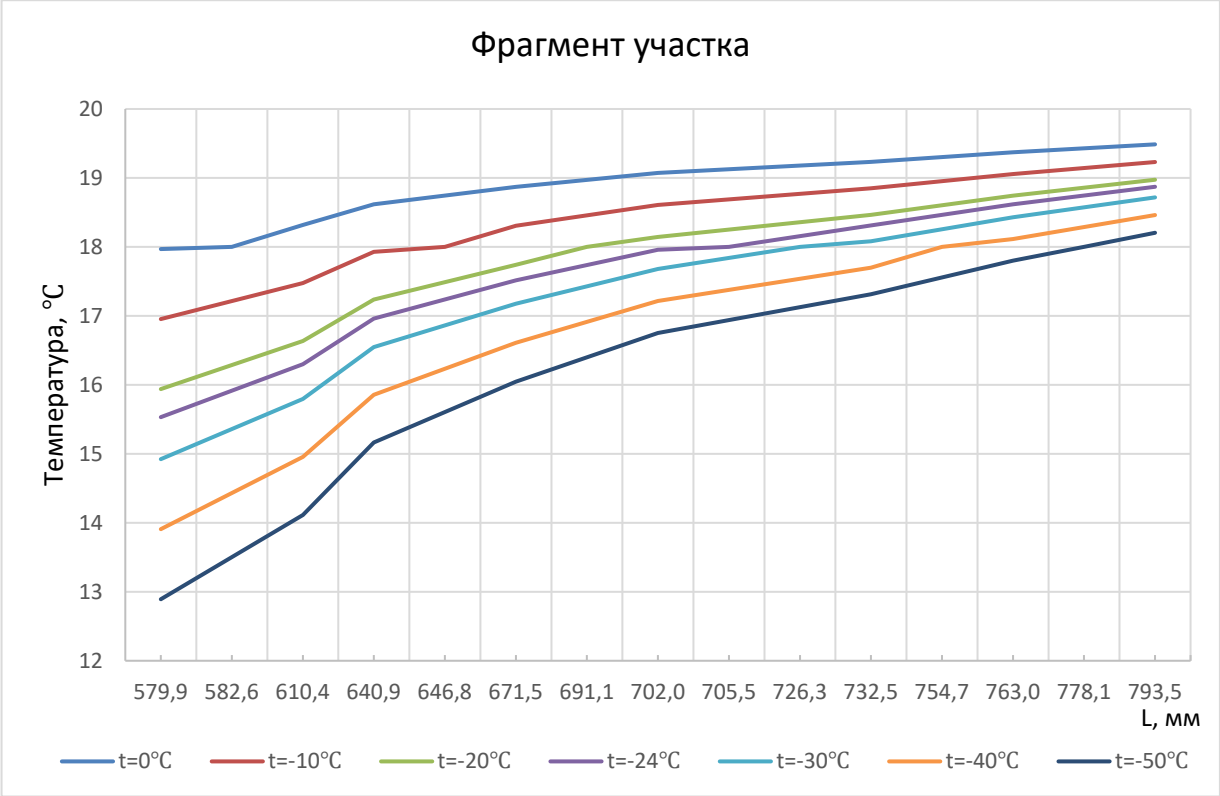


Рисунок 3.6 – Фрагмент участка распределения температурных полей по длине горизонтальной поверхности диска перекрытия (пол-потолок). Тип-1

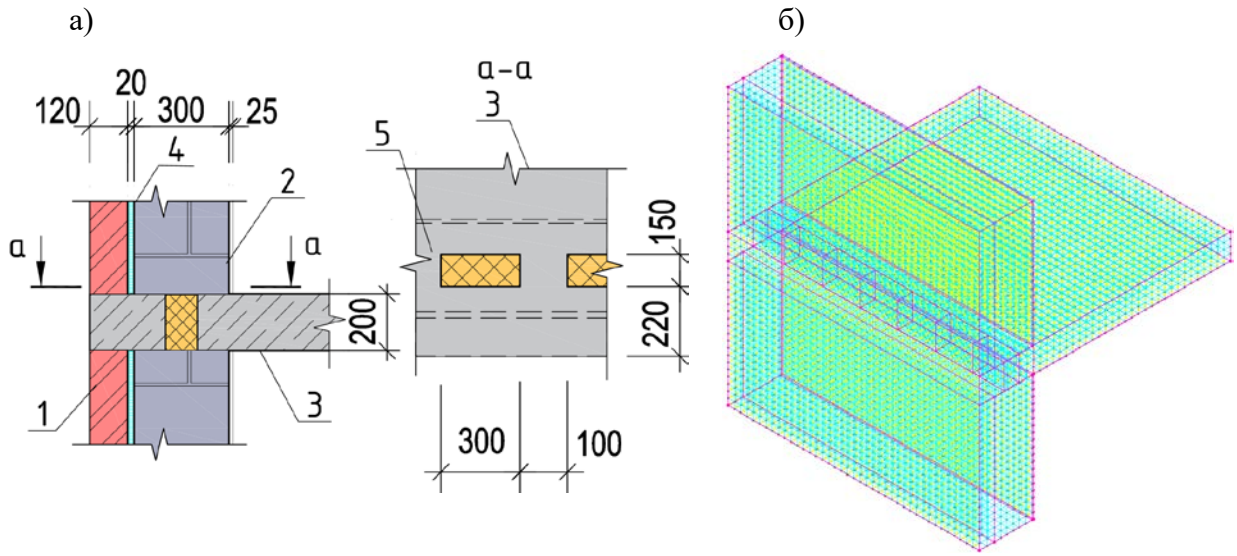
В таблице 3.2 представлены расстояния от внутренней грани стены до границ нормируемого значения температуры поверхности пола ($t_{пол}$=18 °С) исследуемого участка.

Таблица 3.2 – Глубина достижения нормативной температуры по внутренней поверхности диска перекрытия (пол). Тип-1

Наименование сечения	Температуры наружного воздуха, °С						
	0	-10	-20	-24	-30	-40	-50
середина плиты, расстояние, мм	117,6109	181,7533	226,0746	240,5248	261,3351	289,6563	313,0916

3.3.2 Узел сопряжения диска перекрытия со стеной. Тип-2

На рисунке 3.7 представлен узел сопряжения диска перекрытия со стеной, относящийся к типу-2.



а) узел сопряжения диска перекрытия со стеной; б) расчётная модель
1-лицевой слой- пустотелый кирпич; 2- ячеистый бетон; 3-диск перекрытия;
4- воздушный зазор; 5- термовкладыш

Рисунок 3.7 – Тип-2. Узел сопряжения диска перекрытия со стеной

Все необходимые исходные данные для расчёта принимались согласно нормативным документам [183,193] и представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3- Теплофизические характеристики материалов, принятых к расчёту для типа-2

п/п	Наименование материала	Плотность γ, кг/м^3	Удельная теплоёмкость C_0, кДж/(кг· ^{0}C)	Теплопроводность $\lambda_Б$, Вт/(м· ^{0}C)	Тепло-усвоение $S_Б$, Вт/(м^2· ^{0}C)	Толщина δ, м
1	Кирпич	1800	0,88	0,81	10,12	0,12
2	Ячеистый бетон, D600	600	0,84	0,16	1,95	0,3
3	Железобетон	2500	0,84	2,04	18,95	0,2
4	Штукатурный раствор	800	0,84	0,81	3,66	0,025
5	Экструдированный пенополистирол	35	134	0,031	0,31	0,2

Для создания и расчета модели задавались следующие геометрические характеристики:

- наружные стены приняты толщиной 0,465 м, с учётом воздушного зазора– 0,02 мм между лицевым слоем из кирпича и ячеистым бетоном. В состав однородной стеновой конструкции входят следующие материальные слои: первый – пустотелый кирпич, толщиной 0,12 м, второй представлен ячеистым бетоном – 0,3 м и третий – штукатурным раствором – 0,0025 м. Общая высота фрагмента стены составляет 1 м, причём по 0,5 м приходится на верх и низ перекрытия;
- толщина перекрытия составила 0,2 м. Общая длина - 2,0 м с учётом толщины стены приходящейся на перекрытие, ширина участка принята равной 1,35 м.
- пенополистирольные термовкладыши приняты размерами 0,3х0,15х0,2 м, с шагом 0,1 м.

На рисунке 3.7 б) показана расчётная схема модели исследуемого узла (тип-2), включающая в себя 25584 узлов и 20960 элементов.

Граничные условия к поверхностям модели задавались аналогично тем, что были описаны для типа-1.

Каждый элемент конструкции разбит на слои. Причём, в уровне перфорации градация членения на узлы более частая.

Настоящий расчёт проводился из условий стационарного теплового режима и выполнялся с помощью программного модуля HSTAR. Результаты расчёта температурных полей для конструктивного решения, выполненного по типу-2 представлены на рисунке 3.8.

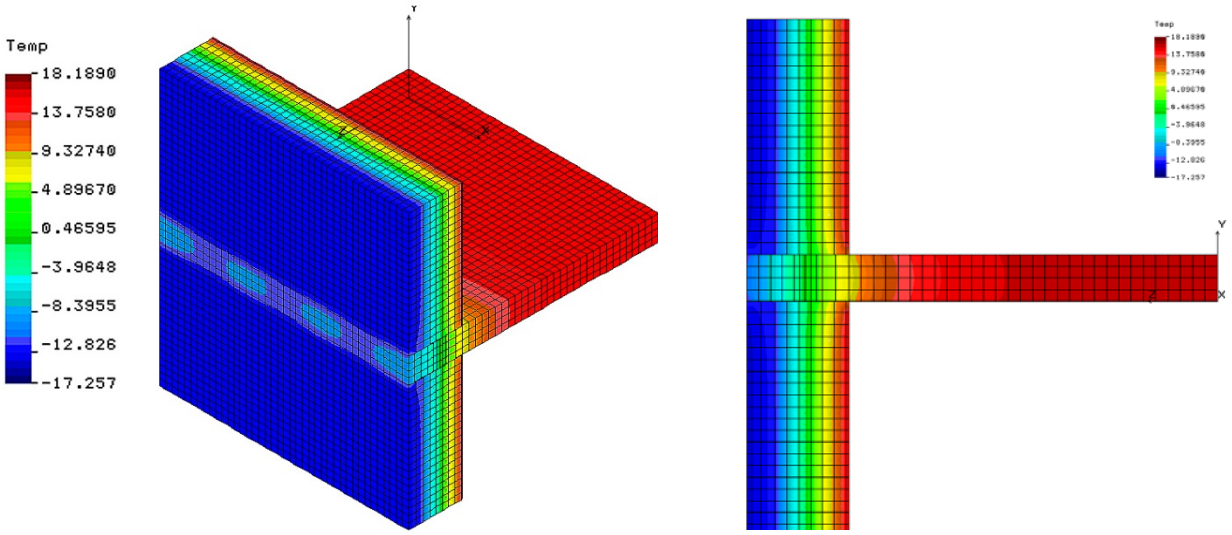


Рисунок 3.8 – Тип-2. Результаты расчёта температурных полей

На графиках, проиллюстрированных на рисунках 3.9,3.10 показаны температурные кривые по поверхности перекрытия, проходящие через две секущие плоскости вдоль диска перекрытия по термовкладышу и шпонке.

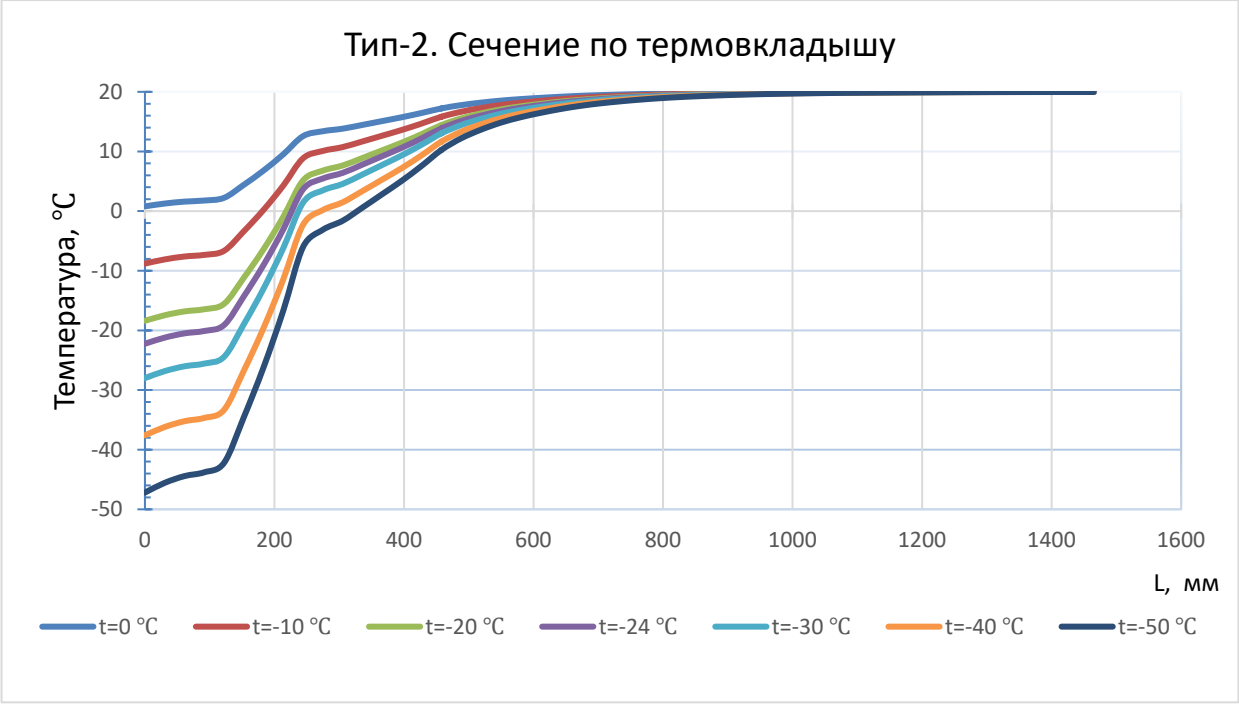


Рисунок 3.9 – Распределение температурных полей по длине диска перекрытия. Сечение по термовкладышу. Тип-2

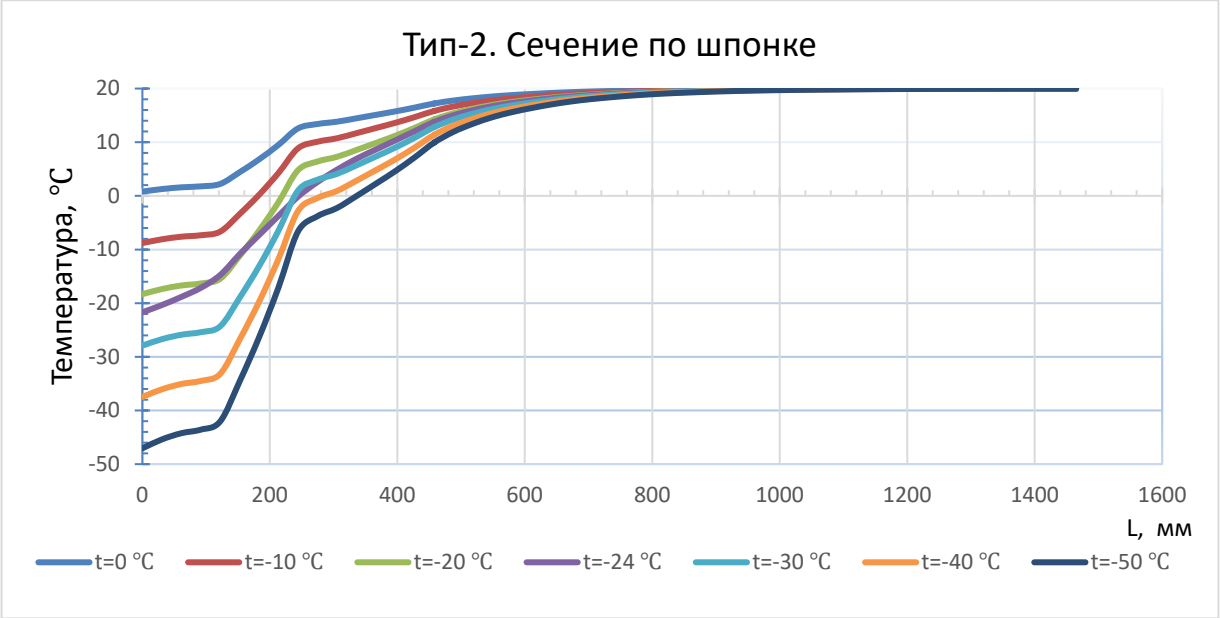
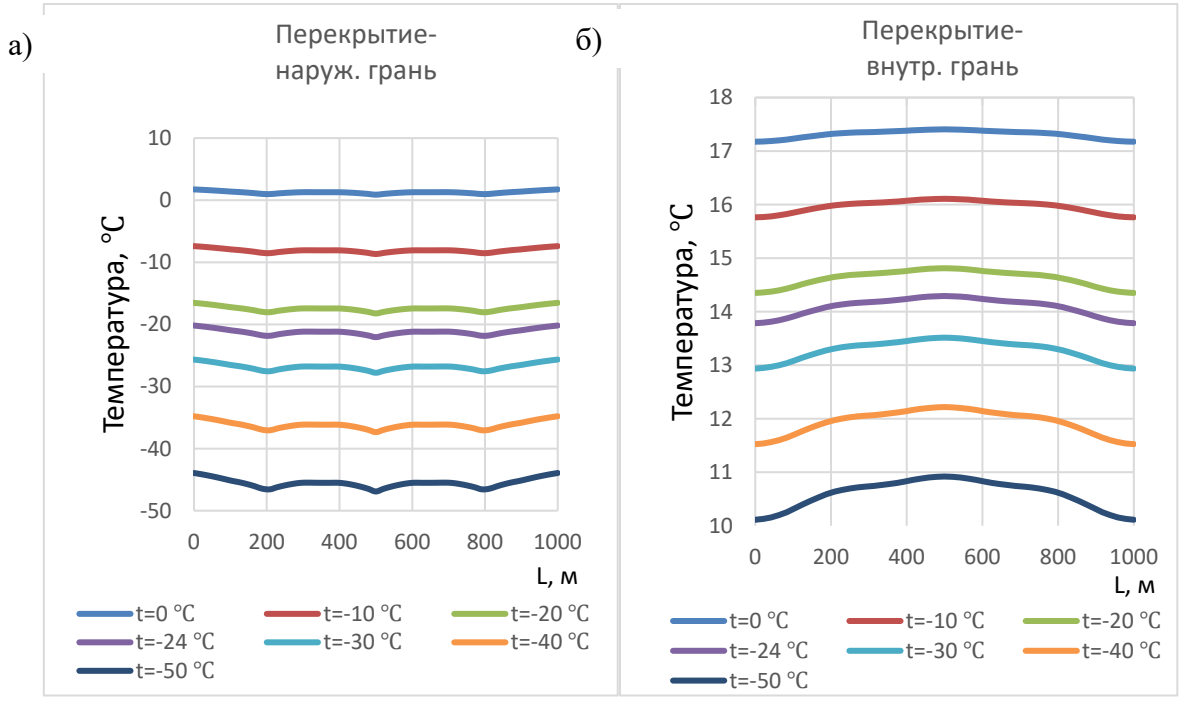


Рисунок 3.10 – Распределение температурных полей по длине диска перекрытия. Сечение по шпонке. Тип-2

Представленные на рисунке 3.11 температурные кривые характеризуют распределение температурных полей на поверхности диска перекрытия для участков со стороны наружной и внутренней сред.



а) температурные кривые по ширине торцевого бруса диска перекрытия;
б) температурные кривые по ширине диска перекрытия со стороны внутренней поверхности стены

Рисунок 3.11 – Распределение температурных полей по ширине диска перекрытия. Тип-2

Продемонстрированные на рисунках 3.9-3.11 графики, свидетельствуют о том, что различие температур на поверхности диска перекрытия для кривых, проходящих через сечения по термовкладышу и шпонке, в процентах (%) составляет: 10, 4, 3,1, 2,2,1 при температурах наружного воздуха соответственно равных 0 ℃,-10 ℃, -20℃,-24℃, -30℃, -40℃, -50℃.

Нормативный перепад температуры Δt на поверхности плиты перекрытия (пол), равный 2 ℃, для различных типов сечения от внутренней грани стены, достигается на расстояниях, значения которых представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Глубина достижения нормативной температуры по внутренней поверхности диска перекрытия. Тип-2

Наименование сечения		Температуры наружного воздуха, °С						
		0	-10	-20	-24	-30	-40	-50
по термо-вкладышу	Расстояние, мм	40,0310	101,335	147,171	162,350	181,496	208,833	233,065
по шпонке		44,6512	105,941	151,717	163,597	185,672	213,023	236,418

3.3.3 Узел сопряжения диска перекрытия со стеной. Тип-3

На рисунке 3.12 рассмотрен вариант узла сопряжения диска перекрытия со стеной, соответствующий типу-3. Для данного типа характерно наличие консольных выпусков с шагом 1040 мм, торцы которых выполнены заподлицо с вертикальной плоскостью фасада.

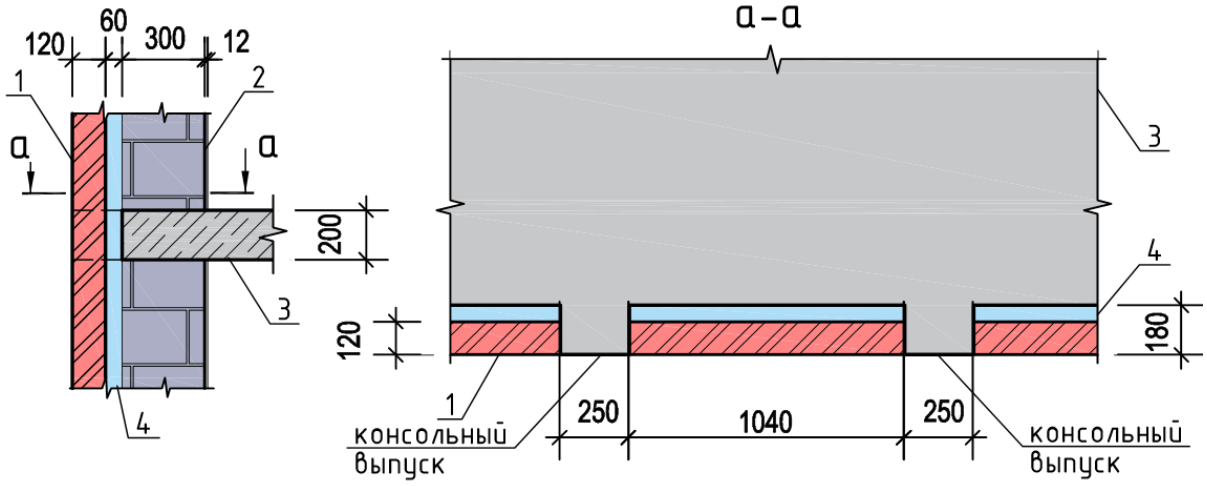
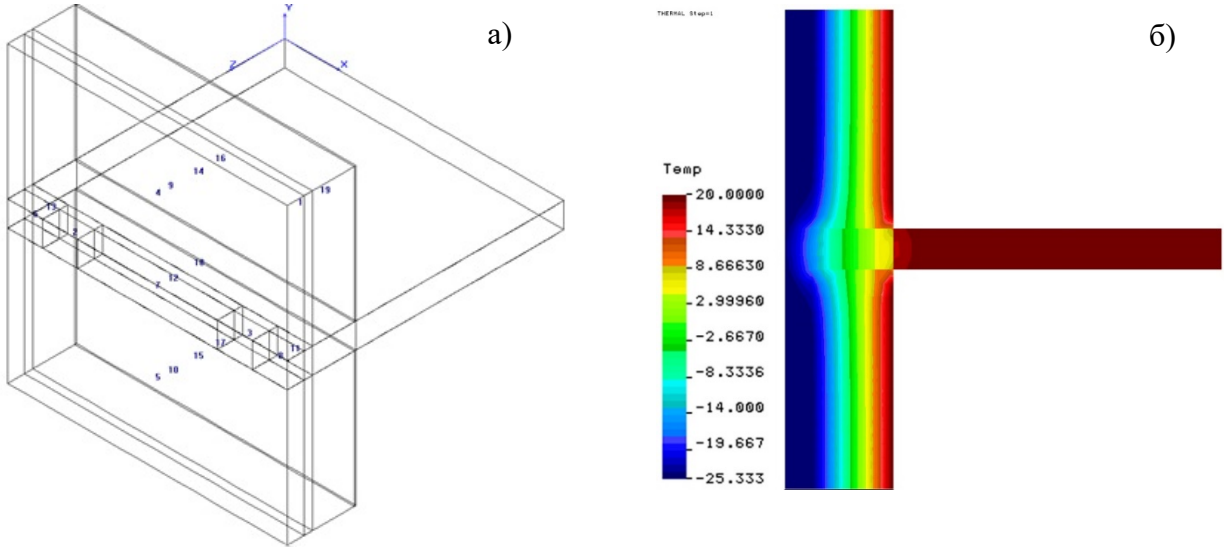


Рисунок 3.12 – Тип-3. Узел сопряжения диска перекрытия со стеной

Теплофизические характеристики материалов соответствуют тем, что были рассмотрены в таблице 3.3. Граничные условия идентичны тем, что были приложены к плоскостям конструкций, выполненных по типу 1 и 2. Для данного конструктивного решения, относящегося к типу-3 была составлена расчётная схема, представленная на рисунке 3.13 а).

Результаты расчётов температурных полей рассматриваемого типа конструктивного решения представлены на рисунках 3.13 б), 3.14.



а) расчётная модель; б) температурное поле конструктивного решения

Рисунок 3.13 — Тип-3. Модель и результаты расчёта температурных полей узла сопряжения диска перекрытия со стеной. Тип-3

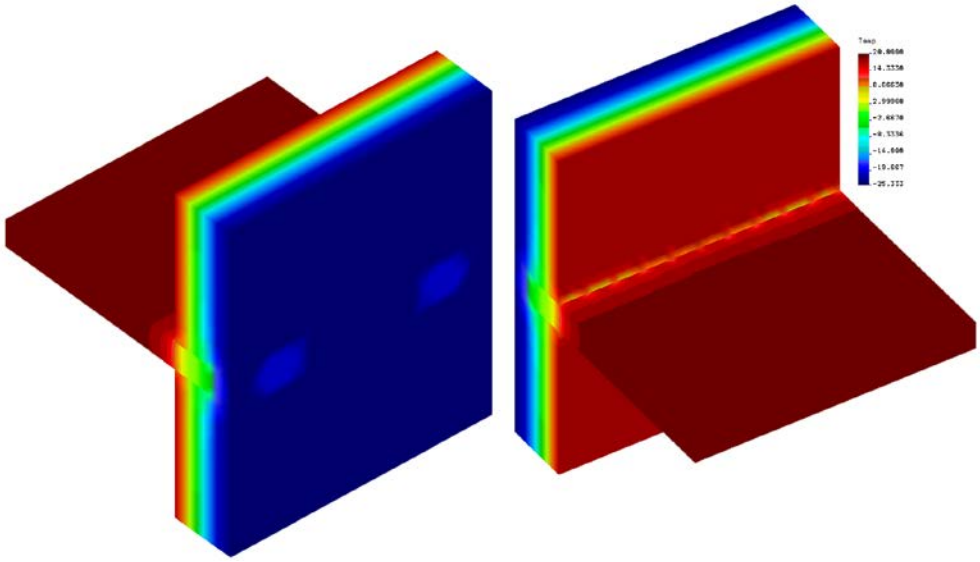


Рисунок 3.14 — Тип-3. Результаты расчёта температурных полей

Температурные кривые, показанные в виде графиков на рисунках 3.15, 3.16 дают информацию о распределении температурных полей по длине горизонтальной поверхности плиты для сечений, проходящих через центральную ось плиты и срединную ось консольного выпуска.

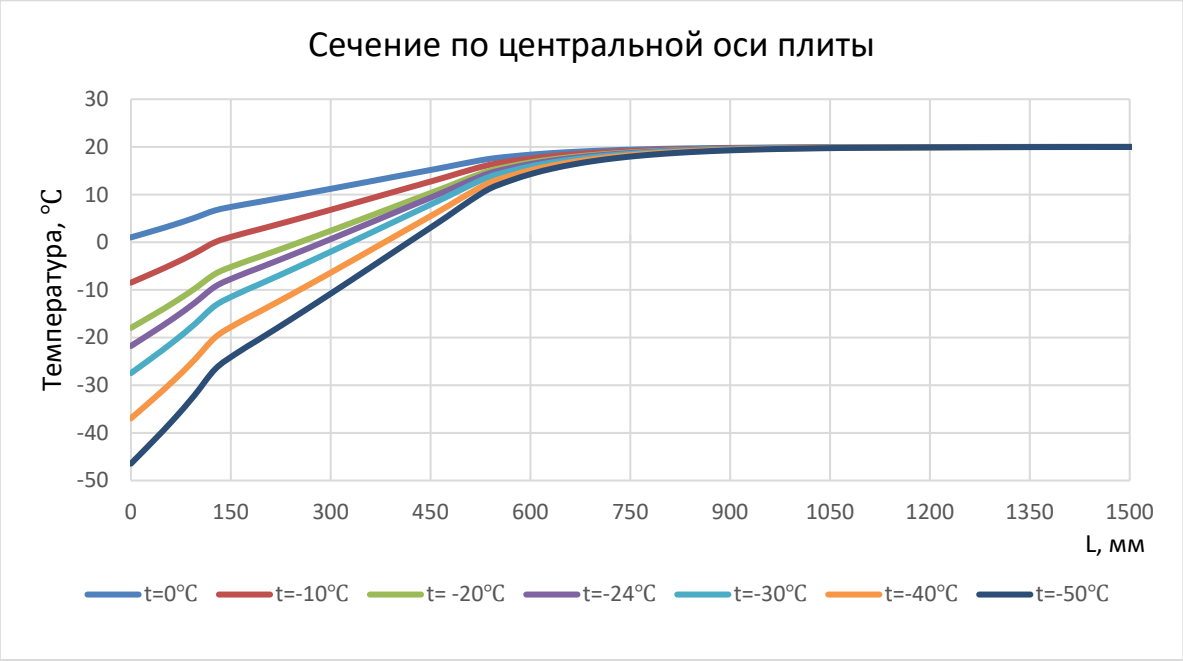


Рисунок 3.15 – Распределение температурных полей по длине диска перекрытия. Сечение по центральной оси. Тип-3

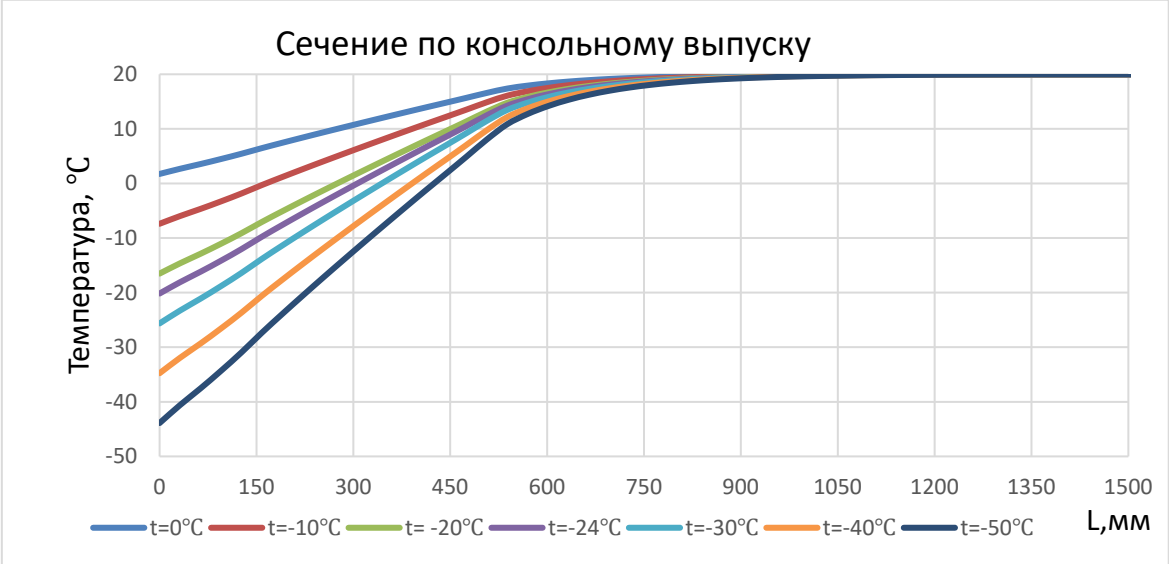


Рисунок 3.16 – Распределение температурных полей по длине диска перекрытия. Сечение по консольному выпуску. Тип-3

Продемонстрированные на рисунках 3.15, 3.16 графики, свидетельствуют о том, что различие температур на поверхности диска перекрытия для кривых, проходящих через сечения по центральной оси плиты и срединной оси консольного выпуска, в процентах (%) составляет: 7,7; 3,1; 2,5; 2,0; 1,9; 1,7; 1,2 при температурах наружного воздуха соответственно равных 0 ℃,-10 ℃, -20℃,-24℃, -30℃, -40℃, -50℃.

Нормативный перепад температуры Δt на поверхности плиты перекрытия (пол), равный 2 ℃, для различных типов сечения от внутренней грани стены, достигается на расстояниях, значения которых представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Глубина достижения нормативной температуры по внутренней поверхности диска перекрытия. Тип-3

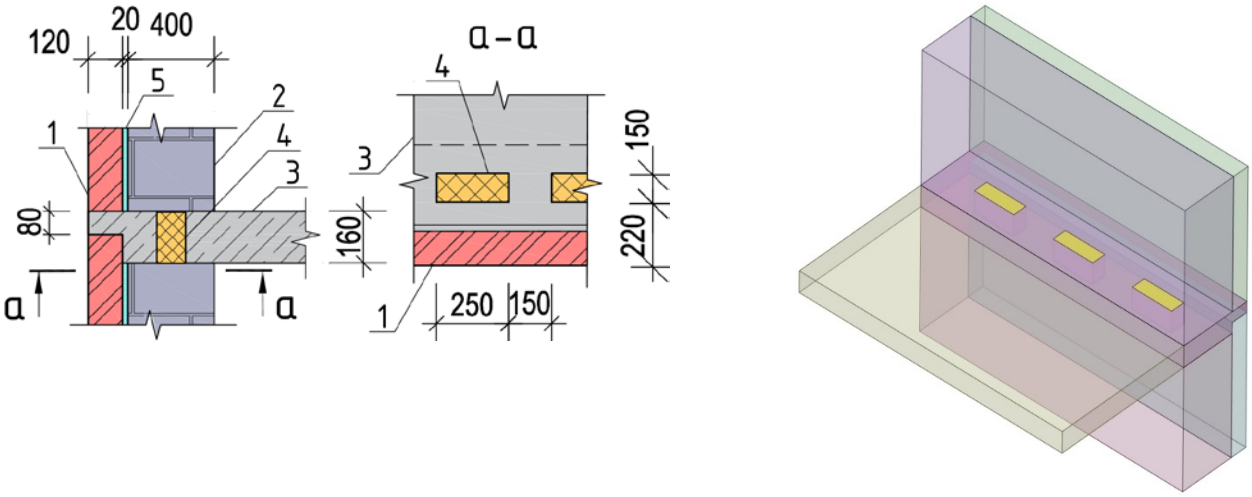
Наименование сечения		Температуры наружного воздуха, °С						
		0	-10	-20	-24	-30	-40	-50
по центральной оси плиты	Расстояние, мм	51,6839	109,924	151,844	165,935	184,244	210,274	233,056
по консольному выпуску		56,0245	113,45	155,688	169,332	187,899	213,871	235,984

3.3.4 Узел сопряжения диска перекрытия со стеной. Тип-4

Следующий вариант конструктивного решения, относится к типу-4. Характерным отличием является то, что нижняя часть торцевого бруса перекрытия на всю длину со стороны фасада имеет выемку шириной 120 мм, что соответствует размеру лицевого кирпича со стороны тычка. Высота вертикальной плоскости торцевого бруса, входящая в состав единой поверхности фасада, равна 80 мм. Описываемый вариант конструктивного решения представлен на рисунке 3.17.

Для рассматриваемого типа-4 при построении модели, показанной на рисунке 3.17 б), был принят ряд обобщений, исключающий наличие воздушного зазора и штукатурного слоя. Принятое допущение не повлияло на характер распределения температурных полей.

а) б)



а) узел сопряжения диска перекрытия со стеной; б) расчётная модель
1-лицевой слой- пустотелый кирпич; 2- ячеистый бетон; 3-диск перекрытия;
4- термовкладыш; 5- воздушный зазор;

Рисунок 3.17 – Тип-4. Узел сопряжения диска перекрытия со стеной

Для расчета модели задавались следующие геометрические характеристики:

- наружные стены приняты толщиной 0,52 м и представляют собой однородную двухслойную конструкцию. Первый слой представлен кирпичом- 0,12 м, второй ячеистым бетоном – 0,4 м. Высота стены составляет 1 м, причём по 0,5 м приходится на верх и низ перекрытия;
- Толщина перекрытия составляет 0,16 м; Длина перекрытия до внутренней грани стены 1.520 м. Ширина участка принята 2,0 м.
- Пенополистирольные термовкладыши приняты размерами 0,25х0,15х0,18 м, и отстоят друг от друга на расстоянии 0,15 м.

Теплофизические характеристики слоёв назначались аналогично тем, что приведены в табличной форме для других типов конструктивных решений. На рисунке 3.17 б) показана расчётная схема базовой модели исследуемого узла, включающая в себя 18620 узлов и 15228 элементов.

В рассматриваемом узле, внешние стены, перекрытия, термовкладыши состоят из элементов типа Sf и V. Конечно-элементная модель представлена элементами следующих типов: 110 поверхностей (тип Sf); 20 объёмов (тип V). Каждый элемент конструкции разбит на слои. Причём в уровне перфорации градация членения более мелкая. Граничные условия назначались такими же, как и для конструктивных решений, рассмат-

риваемых ранее. Общий характер распределения температурных полей узла сопряжения диска перекрытия со стеной, выполненного по типу-4, отображён на рисунке 3.18. На рисунке 3.19 показаны температурные поля для горизонтальной поверхности диска перекрытия с перфорацией (см. рисунок 3.19 а)) и с устройством в них термовкладышей (см. рис. 3.19 б)).

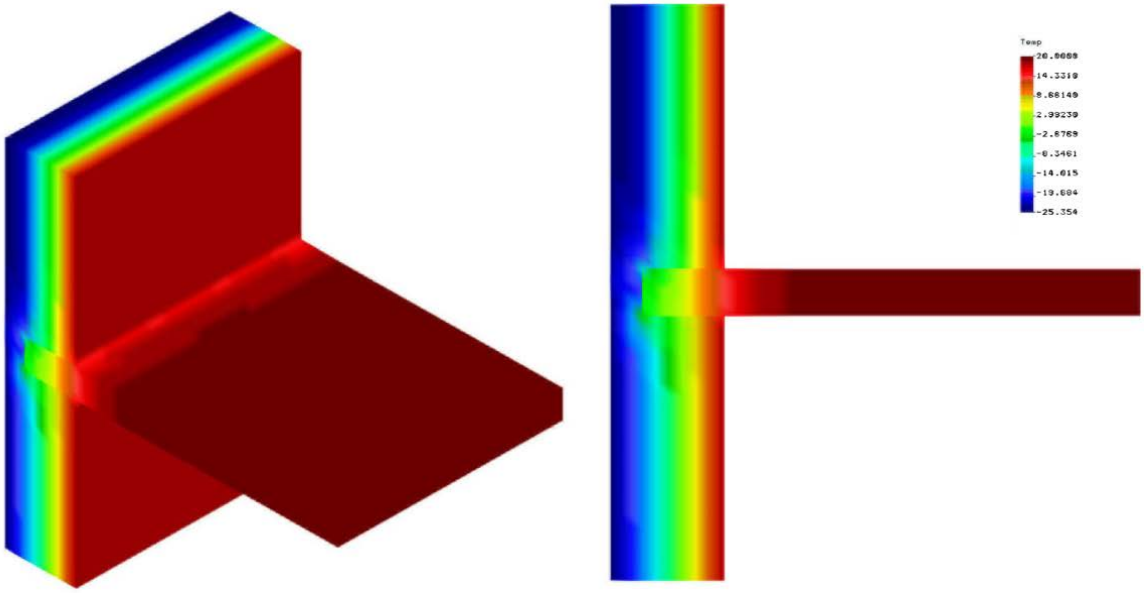
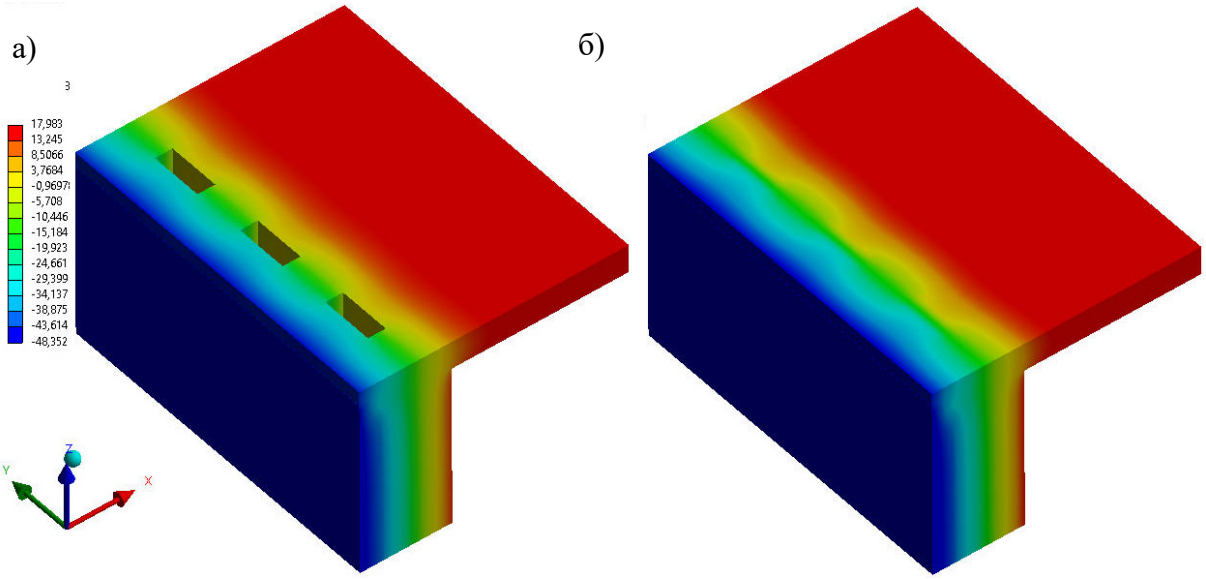


Рисунок 3.18 — Тип-4. Результаты расчёта температурных полей



а) диск перекрытия с перфорацией; б) диск перекрытия с термовкладышами

Рисунок 3.19 – Тип-4. Температурные поля узла сопряжения диска перекрытия со стеной

Характер температурных полей на поверхностях диска перекрытия для заданных диапазонов температур наружного воздуха, свидетельствует о том, что при

толщине плиты перекрытия 160 мм, не взирая на наличие перфорации с термовкладышами и толщине стены- 520 мм, нормативный температурный перепад Δt равный 2 ℃ на поверхности плиты (пола) входит в границы обслуживаемой зоны.

Результаты расчёта температурных полей в виде графиков показаны на рисунке 3.20 -для его верхней части и на рисунке 3.21 -для нижней.

Рассмотрим ситуацию, когда секущая плоскость проходит через центр шпонки. В таком случае, характер распределения температурных полей будет выражен в виде графиков с температурными кривыми, показанных на рисунке 3.20 -для верхней части плиты и на рисунке 3.21 -для нижней.

Температурные кривые для каждого из сечений, рассмотренных на рисунках 3.20-3.23 свидетельствуют о том, что нормируемые значения температуры расположены в границах зоны обслуживания.

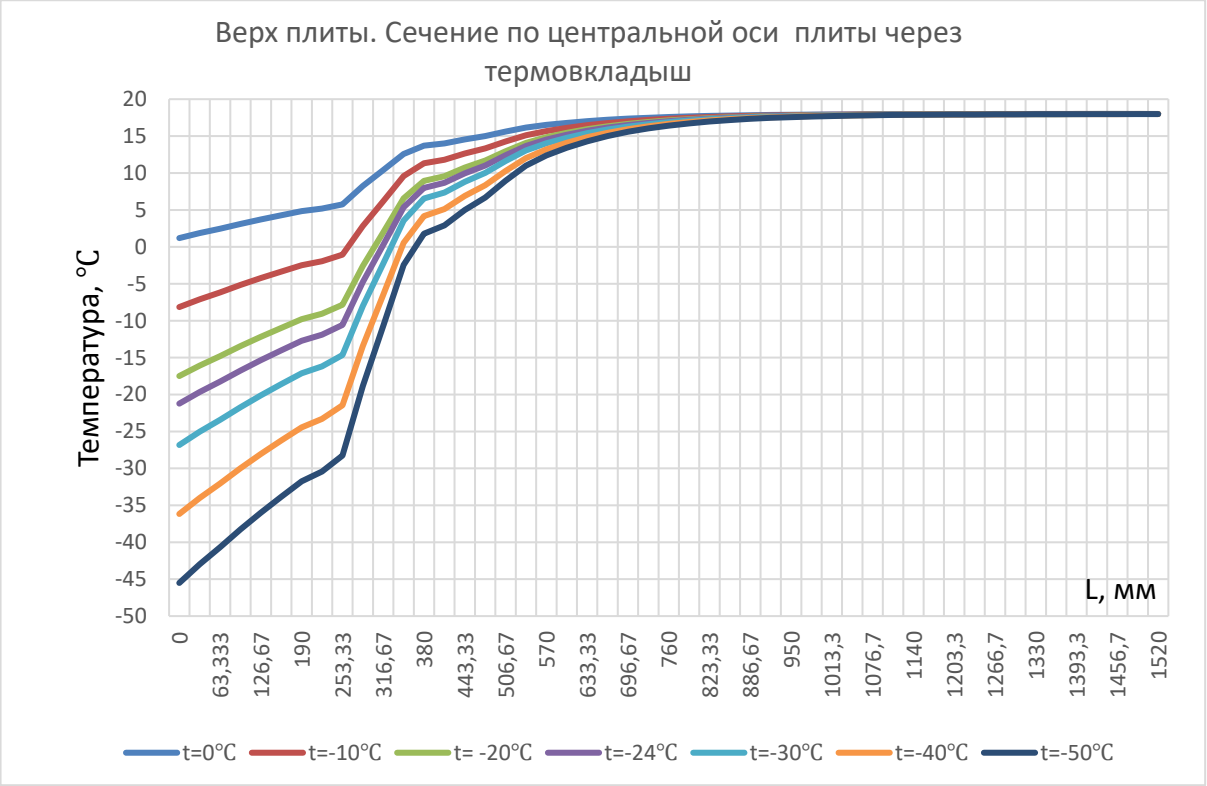


Рисунок 3.20 – Распределение температурных полей по длине диска перекрытия (верх). Сечение по центральной оси (термовкладыш). Тип-4

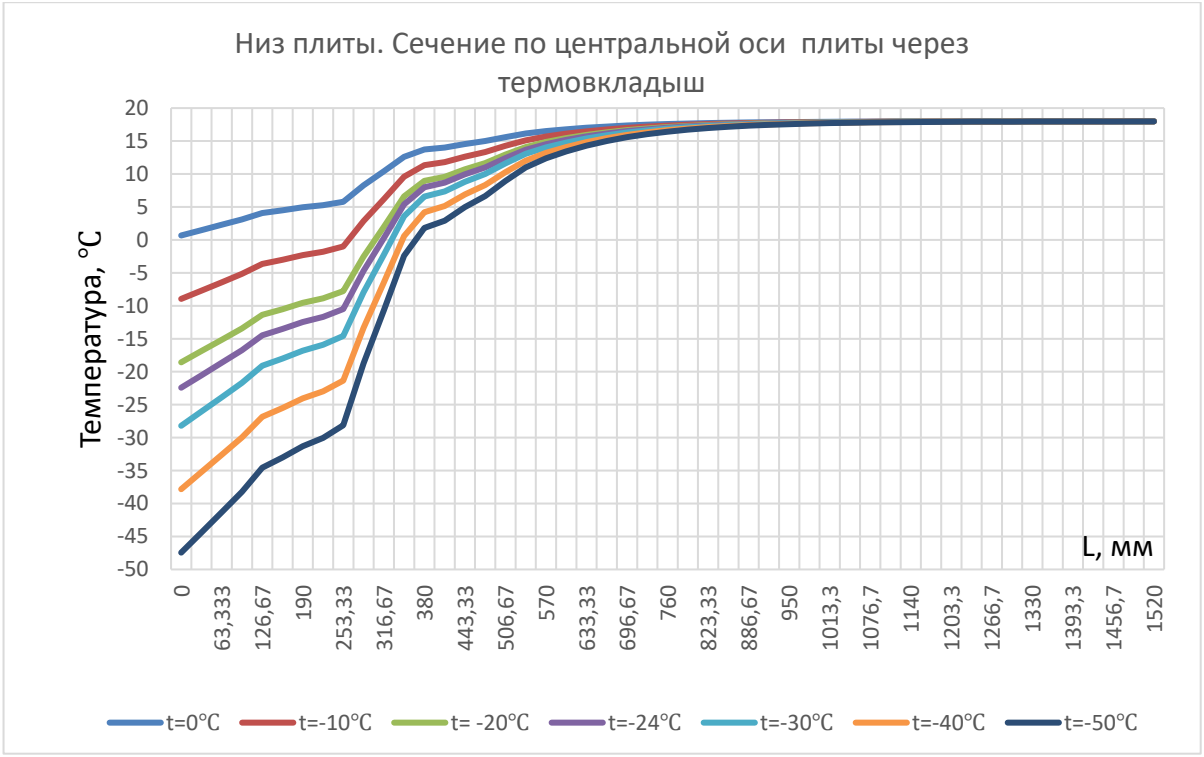


Рисунок 3.21 – Распределение температурных полей по длине диска перекрытия (низ). Сечение по центральной оси (термовкладыш). Тип-4

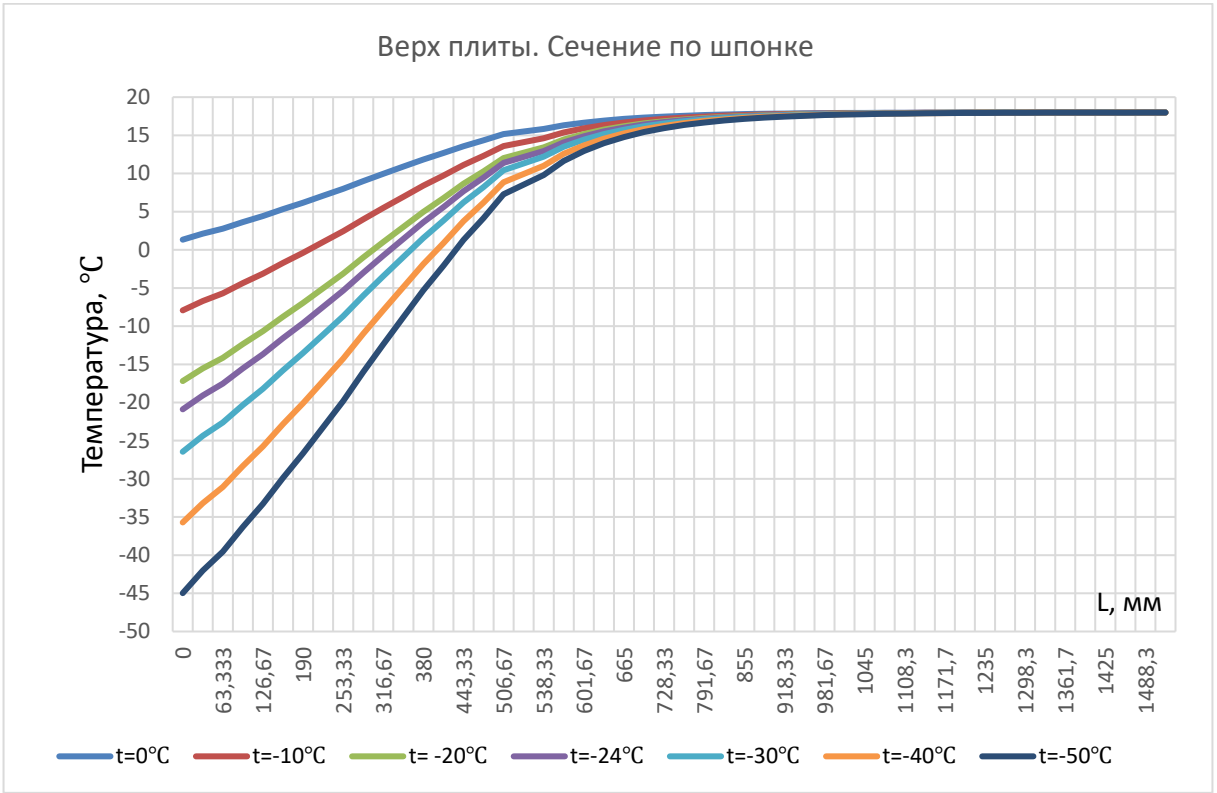


Рисунок 3.22 – Распределение температурных полей по длине диска перекрытия (верх). Сечение по оси шпонки. Тип-4

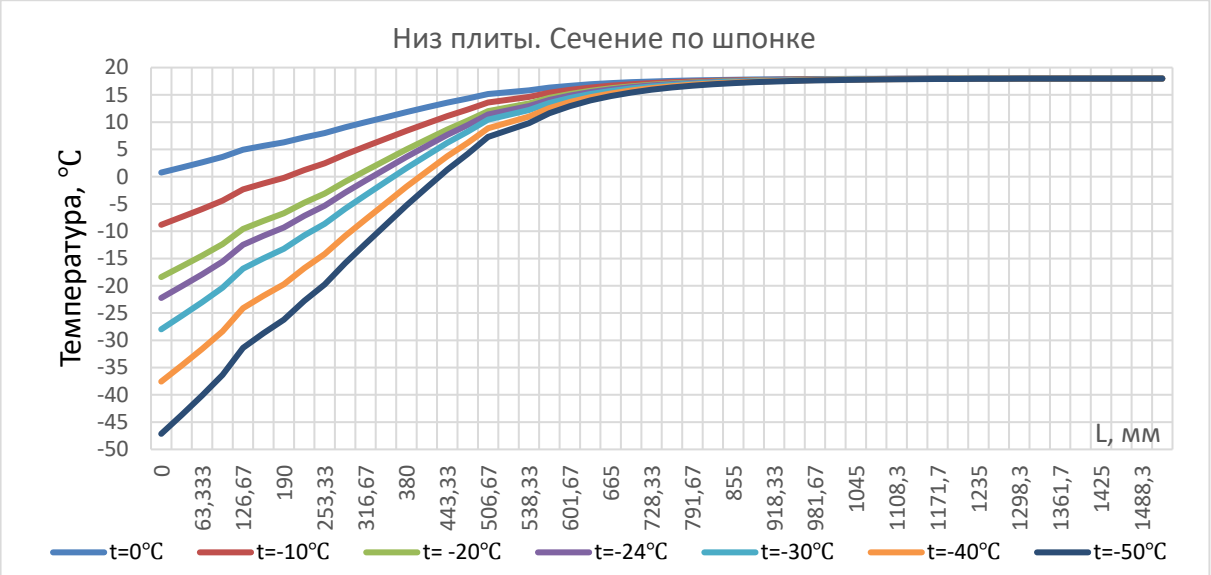


Рисунок 3.23 – Распределение температурных полей по длине диска перекрытия (низ). Сечение по оси шпонки. Тип-4

Для всех вариантов рассматриваемого случая, разброс температурных перепадов на горизонтальных поверхностях перекрытия- верх (пол) и низ (потолок) составили от 0,06% и менее. Информация на этих графиках, свидетельствует о том, что различие температур на поверхности диска перекрытия для кривых, проходящих через сечения по центральной оси плиты и срединной оси шпонки, в процентах (%) составляет: 45; 15; 8,1; 7;5,4; 4; 3,6 при температурах наружного воздуха соответственно равных 0 ℃,-10 ℃, -20℃,-24℃, -30℃, -40℃, -50℃. Нормативный перепад температуры Δt на поверхности плиты перекрытия (пол), равный 2 ℃, для различных типов сечения от внутренней грани стены, достигается на расстояниях, значения которых представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Глубина достижения нормативной температуры по внутренней поверхности диска перекрытия. Тип-4

Наименование сечения		Температуры наружного воздуха, °С						
		0	-10	-20	-24	-30	-40	-50
по центральной оси плиты (термовкладыш)	Расстояние, мм	23,208	83,2283	126,902	140,823	160,24	187,145	209,466
по оси шпонки		42,128	97,9503	138,051	151,438	169,41	195,483	217,197

Отдельные результаты проводимых исследований нашли отражение в работах автора [86,87,88,89]. Анализ выполненных расчётов для различных типов конструктивных решений узлов сопряжения диска перекрытия со стеной при температурах наружного воздуха в холодный период года от 0 °С до минус 50 °С, свидетельствует о том, что зоны пониженных температур не попадают в границы обслуживаемой зоны [38], однако вносят существенный вклад в теплопотери здания и как было показано в главе 1, влияние суточных и многоцикловых колебаний температурно-климатических воздействий приводит к возникновению значительных усилий и деформаций. Эти факторы являются причиной повреждений различного характера в приопорной зоне узла сопряжения диска перекрытия со стеной, включающих – образование трещин с последующим их развитием до магистральных, отслоение защитного слоя бетона, коррозию арматуры и бетонного камня, биоповреждения и т.д. Совокупность указанных признаков оказывает влияние на эксплуатационные качества зданий монолитной конструкции, в том числе на механические характеристики, несущую способность и долговечность.

3.4 Оценка выявленных дефектов узлов на общие тепловые потери зданий

В соответствии с требованиями ГОСТ Р 54851-2011, приведённое сопротивление теплопередаче $R_o^{\text{пр}}$, (м^2·°С/Вт) определяется по формуле:

$$R_o^{\text{пр}} = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{q}, \tag{3.16}$$

где $t_{\text{в}}$ – температура внутреннего воздуха, °С; $t_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха, °С; q – тепловой поток, Вт/м^2.

На основе расчёта трёхмерных температурных полей, определим численные значения теплового потока, проходящих через рассматриваемые в настоящей главе узлы сопряжения диска перекрытия со стеной. В таком случае, приведённое сопротивление теплопередаче $R_o^{\text{пр}}$, (м^2·°С/Вт), исследуемых фрагментов неоднородной ограждающей конструкции вычисляются по формуле:

$$R_o^{\text{пр}} = n\frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{Q} \cdot A, \tag{3.17}$$

где A – площадь неоднородной ограждающей конструкции (стены, окна, двери, ворот) или ее фрагмента, м^2, по размерам с внутренней стороны, включая откосы оконных и дверных проемов (для стен);

Q – суммарный тепловой поток через конструкцию или ее фрагмент площадью A, Вт, определяемый на основе расчёта температурного поля с внутренней стороны ограждающей конструкции;

n– коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху, принимаемый в соответствии с таблицей 6 СП 50.13330 [193] с учетом примечания к этой таблице;

$t_в$ – расчетная температура внутреннего воздуха, °С, принимаемая по ГОСТ 30494 [38];

$t_н$ – расчетная температура наружного воздуха, °С, принимаемая по средней температуре наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 [183].

На основе численного анализа и известных методик определим удельные потери теплоты для узлов сопряжения диска перекрытия со стеной, выполненных по типам 1-4. В качестве такой методики используем положения изложенные в Приложении Е, СП 50.13330 [193]. Основная цель проводимого на данном этапе исследования заключается в определении степени влияния существующих решений на общий характер теплопотерь по отношению ко всей теплозащитной оболочки здания.

Анализируя работы Тишер-Егоровой Т.-Э.А., Андрейцевой К.С. [7, 204] и отдельные исследования, проводимые например Гагариным В.Г, Козловым В.В., Умняковой Н.П. и др., заложенные в основу СП 230.1325800 [186,187] стоит отметить следующее: предлагаемые авторами результаты численных вычислений при определении значений общего потока теплоты и удельных потерь теплоты через узлы ограждающих конструкций при расчётах в ANSYS достигаются только при использовании решателя типа Elemental Difference в разделе Integration Point Results.

При решении узлов сопряжения диска перекрытия со стеной, имеющих перфорацию под термовкладыши и оценке их вклада в общие теплопотери здания, необходимо

решать вопросы связанные с потерями теплоты через расчётные области рассматриваемых фрагментов узлов, имеющих участки с теплотехническими неоднородностями. Для этого, рассмотрим случай определения эффективной теплопроводности для участка плиты с перфорацией под термовкладыши.

В целях нахождения точных значений удельных потерь теплоты, с последующим определением приведённого сопротивления теплопередаче для рассматриваемых моделей неоднородных конструкций шаг расчётной сетки имел более частую структуру [81]. Тепловой анализ для всех рассматриваемых в настоящей главе типов конструктивных решений выполнялся для стационарных условий в программном комплексе ANSYS. Теплофизические характеристики материалов, принятые к расчёту, соответствуют данным таблицы 3.1 и 3.3.

Тип-1

По результатам расчёта трёхмерного температурного поля значение общего теплового потока составило:

$$Q=65{,}694 \text{ Вт/м}^2, \qquad (3.18)$$

Потери теплоты Q_j^L , Вт/м через расчётный фрагмент с линейной теплотехнической однородностью j-го вида, приходящиеся на 1 пог. м. зоны сопряжения наружной стеновой конструкции с поверхностью диска перекрытия составили:

$$Q_j^L = Q \cdot 1 \text{ м} = 65{,}694 \ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \qquad (3.19)$$

Потери теплоты через однородные участки рассматриваемого фрагмента той же площадью:

$$Q = \frac{t_B - t_H}{R_0} \cdot S = \frac{\big(20 - (-24)\big)}{2{,}42} \cdot 2{,}18 = 39{,}63 \ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \qquad (3.20)$$

Удельные потери теплоты через фрагмент узла сопряжения диска перекрытия со стеной равны:

$$\psi = \frac{Q_L - Q}{t_B - t_\text{н}} = \frac{65{,}694 - 39{,}63}{\big(20 - (-24)\big)} = 0{,}592 \ {}^{\text{Вт}}/_{(\text{м} \cdot {}^\circ\text{C})}, \qquad (3.21)$$

Тип-2

Шаг перфорации 2/1. При расчёте трёхмерного температурного поля, значения величин общего теплового потока будут составлять:

$$Q=51{,}07\ \text{Вт/м}^2, \tag{3.22}$$

$$Q_{j,\text{сред}}^{L2} = Q_1 \cdot 1\ \text{м} = 51{,}07 \cdot 1 = 51{,}07\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \tag{3.23}$$

$$Q = \frac{t_B - t_H}{R_0} \cdot S = \frac{\left(20-(-24)\right)}{2{,}42} \cdot 2{,}18 = 39{,}63\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \tag{3.24}$$

$$\psi = \frac{Q_{L,\text{ср.}} - Q}{t_B - t_\text{н}} = \frac{51{,}07 - 39{,}63}{\left(20-(-24)\right)} = 0{,}26\ {}^{\text{Вт}}/_{(\text{м}\cdot{}^\circ\text{C})}, \tag{3.25}$$

При замене значений теплопроводности фрагмента плиты с перфорацией на эффективную теплопроводность $\lambda_{\text{эфф.}}$=0,7363 Вт/(м·°С) получаем тепловой поток $Q_{\lambda\text{эфф.}}$== 56,118 Вт/м^2, тогда :

$$Q_j^{\lambda\text{эфф}} = Q_{\lambda\text{эфф}} \cdot 1\ \text{м} = 56{,}118\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \tag{3.26}$$

$$Q = \frac{t_B - t_H}{R_0} \cdot S = \frac{\left(20-(-24)\right)}{2{,}42} \cdot 2{,}18 = 39{,}63\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \tag{3.27}$$

$$\psi = \frac{Q_{L,\text{ср.}} - Q}{t_B - t_\text{н}} = \frac{56{,}118 - 39{,}63}{\left(20-(-24)\right)} = 0{,}374\ {}^{\text{Вт}}/_{(\text{м}\cdot{}^\circ\text{C})}\quad, \tag{3.28}$$

Тип-3

Осреднённое по длине значение теплового потока:

$$Q_{\text{сред.}}=59{,}24\ \text{Вт/м}^2 \tag{3.29}$$

$$Q_{j,\text{сред}}^{L2} = Q_1 \cdot 1\ \text{м} = 59{,}24 \cdot 1 = 59{,}24\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \tag{3.30}$$

$$Q = \frac{t_B - t_H}{R_0} \cdot S = \frac{\left(20-(-24)\right)}{2{,}42} \cdot 2{,}08 = 37{,}818\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \tag{3.31}$$

$$\psi = \frac{Q_{L,\text{ср.}} - Q}{t_B - t_\text{н}} = \frac{59{,}24 - 37{,}818}{\left(20-(-24)\right)} = 0{,}487\ {}^{\text{Вт}}/_{(\text{м}\cdot{}^\circ\text{C})}, \tag{3.32}$$

Тип-4

Шаг перфорации 1,66/1.

$$Q_{\text{сред.}}=43{,}964\ \text{Вт/м}^2, \tag{3.33}$$

$$Q_{j,\text{сред}}^{L2} = Q_1 \cdot 1\ \text{м} = 43{,}964 \cdot 1 = 43{,}964\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \tag{3.34}$$

$$Q = \frac{t_B - t_H}{R_0} \cdot S = \frac{\left(20-(-24)\right)}{2{,}42} \cdot 2{,}08 = 37{,}818\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \tag{3.35}$$

$$\psi = \frac{Q_{L,\text{ср.}} - Q}{t_B - t_\text{н}} = \frac{43{,}964 - 37{,}818}{\left(20-(-24)\right)} = 0{,}139\ {}^{\text{Вт}}/_{(\text{м}\cdot{}^\circ\text{C})}, \tag{3.36}$$

При замене значений теплопроводности фрагмента плиты с перфорацией на эффективную теплопроводность $\lambda_{\text{эфф.}}$=1,096 Вт/(м·°С) получаем тепловой поток $Q_{\lambda\text{эфф.}}$== 30,858 Вт/м^2, тогда:

$Q_{\text{сред.}}$= 32,166 Вт/м^2 – замена плиты и вкладышей с λэфф.=1,096 Вт/(м·°С).

$$Q_{j,\text{сред}}^{L2} = Q_1 \cdot 1\ \text{м} = 32{,}166 \cdot 1 = 32{,}166\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \tag{3.37}$$

$$Q_{\text{сред.}}=30{,}858\ \text{Вт/м}^2, \tag{3.38}$$

$$Q_{j,\text{сред}}^{L2} = Q_1 \cdot 1\ \text{м} = 30{,}858 \cdot 1 = 30{,}858\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \tag{3.39}$$

$$Q = \frac{t_B - t_H}{R_0} \cdot S = \frac{\left(20-(-24)\right)}{2{,}42} \cdot 2{,}08 = 37{,}818\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \tag{3.40}$$

$$\psi = \frac{Q_{L,\text{ср.}} - Q}{t_B - t_\text{н}} = \frac{37{,}818 - 32{,}166}{\left(20-(-24)\right)} = 0{,}128\ {}^{\text{Вт}}/_{(\text{м}\cdot{}^\circ\text{C})}, \tag{3.41}$$

$$\psi = \frac{Q_{L,\text{ср.}} - Q}{t_B - t_\text{н}} = \frac{37{,}818 - 30{,}858}{\left(20-(-24)\right)} = 0{,}158\ {}^{\text{Вт}}/_{(\text{м}\cdot{}^\circ\text{C})}, \tag{3.42}$$

3.5 Пример расчёта приведённого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции с использованием способа определения эффективной теплопроводности для узла сопряжения диска перекрытия со стеной

3.5.1 Описание конструктивного решения здания

Рассмотрим 8-этажное здание гражданского назначения. Наружные стены выполнены из лицевого пустотелого кирпича толщиной 0,12 м, ячеистого бетона, выполняющего функции конструкционно-теплоизоляционного материла толщиной 0,3 м и слоя штукатурного раствора толщиной 0,025 м. Параметры теплофизических характеристик материалов принятые в расчётах указаны в таблицах 3.1, 3.3.

Здание трапецеидальной формы с размерами в осях 1-17 – 50,7 м; К-Ш – 22,8 м; А'-М'– 57,7 м; 1'-5'–23,0 м; 1-8 –23,0 м, высотой – 31,04 м. Площадь фасадов, включая световые проёмы: 10568,3 м^2. Суммарная площадь световых проёмов 2616,68 м^2.

Площадь поверхности фасадов без светопроёмов:

А= 10568,3 – 2616,68=7951,62 м^2.

В состав наружного стенового ограждения входят следующие элементы:

- плоский элемент 1– протяжённость вертикальных граней торцов диска перекрытия;
- плоский элемент 2– стена по глади;
- линейный элемент 1 – оконные откосы, образованные кладкой из газобетонных блоков;
- линейный элемент 2 – наружный угол
- линейный элемент 3 – монолитный железобетонный диск перекрытия (узел сопряжения диска перекрытия со стеной);

На примере описываемого здания, исследуем степень влияния на долю общих теплопотерь конструктивные решения, выполненные по типам 1-4.

Суммарная протяжённость пофасадных выпусков дисков перекрытия (торцов) составляет 2948,5 м. В пределах одного этажа эта протяжённость составит 368,5 м.

Для конструктивных решений, выполненных по типу 1,2 площадь стены $A_{1.1}$ с проекцией основания из железобетонных элементов (торцов диска перекрытия) будет равна: $A_{1.1}$=2948,5·0,2=589,7 м² (0,2 м – толщина плиты). Доля этой площади от общей площади фрагмента ограждающей конструкции будет составлять:

$$a_{1.1} = \frac{589,7}{7951,62} = 0,074$$

Для конструктивного решения, выполненного по типу 3 при толщине плиты 0,16 м и ширине участка 0,25 м, площадь стены $A_{1.2}$ с проекцией основания из железобетонных элементов (торцов диска перекрытия) составит: $A_{1.2}$=571,3·0,16=91,4 м²

Доля этой площади от общей площади фрагмента ограждающей конструкции равна:

$$a_{1.2} = \frac{91,4}{7951,62} = 0,0115$$

Для конструктивного решения, выполненного по типу 4 в случае, когда толщина торца диска перекрытия равная 0,08 м, площадь стены $A_{1.3}$ с проекцией основания из железобетонных элементов (торцов диска перекрытия) составляет: $A_{1.3}$=2948,5·0,08=235,88 м².

Доля этой площади от общей площади фрагмента ограждающей конструкции равна:

$$a_{1.3} = \frac{235,88}{7951,62} = 0,03$$

Площади наружного стенового ограждения с учётом рассматриваемых типов конструктивных решений:

$A_{2.1}$= 7951,62-589,7=7361,92 м² (тип-1,2);

$A_{2.2}$= 7951,62-91,41=7860,2 м² (тип-3);

$A_{2.3}$= 7951,62-235,88=7715,74 м² (тип-4).

Доли этих площадей от общей площади фрагмента ограждающей конструкции:

$$a_{2.1} = \frac{7361,92}{7951,62} = 0,926 \text{ (тип-1,2);} \qquad a_{2.2} = \frac{7860,2}{7951,62} = 0,989 \text{ (тип-3);}$$

$$a_{2.3} = \frac{7715,74}{7951,62} = 0,97 \text{ (тип-4).}$$

Суммарная протяжённость витражных и оконных откосов определяется по экспликации оконных проемов и равна:

L_a= 246,17 м– витражное заполнение

L_b= 2261,8 м– оконные заполнения

} Из экспликации ведомости витражных и оконных заполнений (проектная документация)

Суммарная длина оконных откосов L_1=246,17+2261,8=2508 м. Удельная геометрическая характеристика- длина оконных откосов, приходящаяся на 1 м² площади фасада, равна:

$$l_1 = \frac{2508}{7951,62} = 0,315\text{м}^{-1}\text{– линейный элемент 1}$$

Суммарная протяжённость линейного элемента 2 – наружных углов в здании L_2=279,36 м (из них: 6 -выпуклых, 3- вогнутых). Удельная геометрическая характеристика равна:

$$l_2 = \frac{279,36}{7951,62} = 0,035\ \text{м}^{-1}\text{– линейный элемент 2}$$

Для конструктивных решений, выполненных по типу 1,2,4 – суммарная протяжённость линейного элемента 3.1, представляющего собой монолитный железобетонный диск перекрытия (узел сопряжения диска перекрытия со стеной) – $L_{3.1}$=2948,5 м . Удельная геометрическая характеристика равна:

$$l_{3.1} = \frac{2948,5}{7951,62} = 0,371\text{м}^{-1}\text{– линейный элемент 3 (тип 1-2-4)}$$

Для конструктивных решений, выполненных по типу 3– суммарная протяжённость линейного элемента 3.2, представляющего собой монолитный железобетонный диск перекрытия (узел сопряжения диска перекрытия со стеной) – $L_{3.2}$=571,3 м . Удельная геометрическая характеристика равна:

$$l_{3.2} = \frac{571,3}{7951,62} = 0,072\text{м}^{-1}\text{– линейный элемент 3 (тип 1-2-4)}$$

3.5.2 Расчет удельных потерь теплоты, обусловленных элементами, входящих в состав рассматриваемых конструктивных решений

Для плоского элемента 1 значение условного сопротивления теплопередаче составит:

$$R_{\circ}^{усл} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \sum_{s} R_s + \frac{1}{\alpha_{н}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,465}{2,04} + \frac{1}{23} = 0,386 \ \frac{(м^2 \cdot °C)}{Вт}, \quad (3.43)$$

$$U_1 = \frac{1}{R_i^{усл}} = \frac{1}{0,386} = 2,59 \frac{Вт}{(м^2 \cdot °C)}, \quad (3.44)$$

Для плоского элемента 2 значение условного сопротивления теплопередаче составит:

$$R_{\circ}^{усл} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \sum_{s} R_s + \frac{1}{\alpha_{н}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,12}{0,58} + \frac{0,3}{0,15} + \frac{0,03}{0,56} + \frac{1}{23} = 2,42 \frac{(м^2 \cdot °C)}{Вт}, \quad (3.45)$$

$$U_1 = \frac{1}{R_i^{усл}} = \frac{1}{2,42} = 0,413 \frac{Вт}{(м^2 \cdot °C)}, \quad (3.46)$$

Значения удельных потерь теплоты через линейные элементы 1-3, соответствующие оконным откосам, наружным углам и узлам сопряжения диска перекрытия со стеной были определены по таблицам, Г.30, Г.27, Г.5,Г.6, Г.7 СП 230.1325800.2015 [187].

Удельные потери теплоты через линейный элемент 1:

$$\psi_1 = 0,0477 \ \frac{Вт}{(м \cdot °C)}, \quad (3.47)$$

Удельные потери теплоты через линейный элемент 2:

Выпуклые углы – $\psi_{2.1} = 0,0745 \ {Вт}/{(м \cdot °C)}$ (3.48)

Вогнутые углы – $\psi_{2.2} = -0,215 \ {Вт}/{(м \cdot °C)}$ (3.49)

В рамках проводимого исследования был выполнен расчёт и дана оценка о степени влияния для каждого из рассматриваемых типов узлов сопряжения диска перекрытия со стеной на общие теплопотери здания.

Удельные потери теплоты через линейный элемент 3, для рассматриваемых типов узлов сопряжения диска перекрытия, значения которых определены по различным методикам сведены в таблицу 3.7.

Таблица 3.7– Удельные потери теплоты ψ, Вт/(м·°С) для узла сопряжения диска перекрытия со стеной

Типы конструктивного решения	Удельные потери теплоты ψ, $^{Вт}/_{(м \cdot °С)}$, определённые по различным методикам		
	По результатам расчёта в ANSYS	По таблицам СП 230.1325800	С учётом эффективной теплопроводности
Тип-1	0,592	0,550	0,592
Тип-2[12]	0,26	0,276	0,374
Тип-3[13]	0,487	–	0,487
Тип-4[14]	0,138	–	0,158

3.5.3 Расчет приведенного сопротивления теплопередаче стены

Рассмотрим для каждого из типов конструктивного решения его вклад в общие потери теплоты. Данные расчетов сведены в таблицы 3.8-3.11 в соответствии с приложением Е, СП 50.13330.2012 [193].

Таблица 3.8– **Геометрические и теплозащитные характеристики элементов. Тип-1**

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты, Вт/(м²·°С)	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м²·°С)	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a_{1.1}$=0,074 м²/м²	U_1=2,59	$U_1 a_{1.1}$=0,192	23,9
Плоский элемент 2	$a_{2.1}$=0,926 м²/м²	U_2=0,413	$U_2 a_{2.1}$=0,382	47,6
Линейный элемент 1	$l_1 = 0{,}315\ м^{-1}$	ψ_1=0,0477	$\psi_1 l_1$=0,015	1,8
Линейный элемент 2	$l_{2.1} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.1}$=0,0745	$\psi_{2.1} l_{2.1}$=0,0026	0,3
	$l_{2.2} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.2}$= -0,215	$\psi_{2.2} l_{2.2}$=-0,0075	-0,9
Линейный элемент 3	$l_{3.1} = 0{,}371 м^{-1}$	Ψ_3= 0,592	$\Psi_3 l_3$=0,22	27,4
Линейный элемент 3*[15]	$l_{3.1} = 0{,}371 м^{-1}$	Ψ_3= 0,550	$\Psi_3 l_3$=0,204	25,9
Линейный элемент 3**[16]	$l_{3.1} = 0{,}371 м^{-1}$	Ψ_3= 0,592	$\Psi_3 l_3$=0,22	27,3
Итого			0,804	100
Итого*			0,788	
Итого**			0,804	

[12] типу-2 соответствует перфорация 2/1. Значение получено по таблицам Г6, Г-7 СП 230.1325800

[13,14] в существующей редакции СП 230.1325800 данные по таким типам конструктивных решений отсутствуют.

[15,16] – значения соответствуют типу-1, см. таблицу 3.7

Из СП 230.1325800 по формуле (5.1) вычислим приведённое сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции (тип-1) для случая определения удельных потерь теплоты через линейный элемент 3 в программном комплексе ANSYS:

$$R_{\text{о}}^{\text{пр}} = \frac{1}{0{,}192 + 0{,}382 + 0{,}015 + 0{,}003 - 0{,}008 + 0{,}22} = \\ = \frac{1}{0{,}804} = 1{,}24\ \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}\ , \qquad (3.50)$$

Приведённое сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции (тип-1) для случая определения удельных потерь теплоты через линейный элемент 3:

$$R_{\text{о}}^{\text{пр}} = \frac{1}{0{,}192 + 0{,}382 + 0{,}015 + 0{,}003 - 0{,}008 + 0{,}204} = \\ = \frac{1}{0{,}788} = 1{,}27\ \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}\ , \qquad (3.51)$$

Для рассматриваемого фрагмента ограждающей конструкции, разница в результатах расчёта удельных потерь теплоты составляет 0,016 Вт/(м·°С). При расчёте приведённого сопротивления теплопередаче эта разница составила 2 %.

Таблица 3.9– **Геометрические и теплозащитные характеристики элементов. Тип-2**

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты, Вт/(м^2·°С)	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м^2·°С)	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a_{1.1}$=0,074 м^2/м^2	U_1=2,59	$U_1\ a_{1.1}$=0,192	28,17
Плоский элемент 2	$a_{2.1}$=0,926 м^2/м^2	U_2=0,413	$U_2 a_{2.1}$=0,382	56,2
Линейный элемент 1	$l_1 = 0{,}315\ м^{-1}$	ψ_1=0,0477	$\psi_1 l_1$=0,015	2,18
Линейный элемент 2	$l_{2.1} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.1}$=0,0745	$\psi_{2.1} l_{2.1}$=0,0026	0,18
	$l_{2.2} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.2}$= -0,215	$\psi_{2.2} l_{2.2}$=-0,0075	-1,11
Линейный элемент 3	$l_{3.1} = 0{,}371 м^{-1}$	Ψ_3= 0,26	$\Psi_3 l_3$=0,096	14,18
Линейный элемент 3*	$l_{3.1} = 0{,}371 м^{-1}$	Ψ_3= 0,276	$\Psi_3 l_3$=0,102	14,92
Линейный элемент 3**	$l_{3.1} = 0{,}371 м^{-1}$	Ψ_3= 0,374	$\Psi_3 l_3$=0,138	14,18
Итого			0,680	100
Итого*			0,686	
Итого**			0,722	

Приведённое сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции (тип-2) для случая определения удельных потерь теплоты через линейный элемент 3 в программном комплексе ANSYS:

$$R_{\text{о}}^{\text{пр}} = \frac{1}{0{,}192 + 0{,}382 + 0{,}015 + 0{,}0026 - 0{,}0075 + 0{,}096} = \frac{1}{0{,}68} = 1{,}47 \ \ \frac{\text{м}^2 \cdot ℃}{\text{Вт}}, \qquad (3.52)$$

Приведённое сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции (тип-2) для случая определения удельных потерь теплоты через линейный элемент 3 по СП 230.1325800.2015:

$$R_{\text{о}}^{\text{пр}} = \frac{1}{0{,}192 + 0{,}382 + 0{,}015 + 0{,}0026 - 0{,}0075 + 0{,}102} = \frac{1}{0{,}686} = 1{,}46 \ \ \frac{\text{м}^2 \cdot ℃}{\text{Вт}}, \qquad (3.53)$$

Приведённое сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции (тип-2) для случая определения удельных потерь теплоты через линейный элемент 3 с учётом эффективной теплопроводности:

$$R_{\text{о}}^{\text{пр}} = \frac{1}{0{,}192 + 0{,}382 + 0{,}015 + 0{,}0026 - 0{,}0075 + 0{,}138} = \frac{1}{0{,}722} = 1{,}38 \ \ \frac{\text{м}^2 \cdot ℃}{\text{Вт}}, \qquad (3.54)$$

Для рассматриваемого фрагмента ограждающей конструкции (тип-2), расхождения значений удельных потерь теплоты между численными вычислениями и значениями полученных при расчёте эффективной теплопроводности по отношению к значениям полученных по таблицам СП 230.1325800.2015 соответственно составила 0,006 Вт/(м·°С) и минус 0,036 Вт/(м·°С). При расчёте приведённого сопротивления теплопередаче эта разница составила 1 % и 5 %.

По результатам вычислений, данные которых для конструктивного решения, выполненного по типу-3 приведены в таблице 3.10 определим значения приведённого сопротивления теплопередаче для случая определения удельных потерь теплоты через линейный элемент 3 в программном комплексе ANSYS:

$$R_{\text{о}}^{\text{пр}} = \frac{1}{0{,}0297 + 0{,}408 + 0{,}0148 + 0{,}0026 - 0{,}00752 + 0{,}035} = \frac{1}{0{,}483} = 2{,}07 \ \ \frac{\text{м}^2 \cdot ℃}{\text{Вт}}, \qquad (3.55)$$

Для рассматриваемого варианта конструктивного решения (тип-3), в существующей редакции СП 230.1325800.2015 данный тип узла отсутствует.

Таблица 3.10– **Геометрические и теплозащитные характеристики элементов. Тип-3**

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты, Вт/(м^2·°С)	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м^2·°С)	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a_{1.2}$=0,0115м^2/м^2	U_1=2,59	$U_1a_{1.2}$=0,297	6,16
Плоский элемент 2	$a_{2.2}$=0,989 м^2/м^2	U_2=0,413	$U_2a_{2.2}$=0,408	84,53
Линейный элемент 1	$l_1 = 0{,}315\ м^{-1}$	ψ_1=0,0477	$\psi_1 l_1$=0,015	3,06
Линейный элемент 2	$l_{2.1} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.1}$=0,0745	$\psi_{2.1} l_{2.1}$=0,0026	0,54
	$l_{2.2} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.2}$= -0,215	$\psi_{2.2} l_{2.2}$=-0,0075	-1,56
Линейный элемент 3	$l_{3.2} = 0{,}072 м^{-1}$	Ψ_3= 0,487	$\Psi_3 l_3$=0,035	7,26
Линейный элемент 3**	$l_{3.2} = 0{,}072 м^{-1}$	Ψ_3= 0,487	$\Psi_3 l_3$=0,222	7,26
Итого			0,483	100
Итого**			0,483	100

Таблица 3.11– **Геометрические и теплозащитные характеристики элементов. Тип-4**

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты, Вт/(м^2·°С)	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м^2·°С)	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a_{1.3}$=0,03 м^2/м^2	U_1=2,59	$U_1a_{1.3}$=0,191	14,42
Плоский элемент 2	$a_{2.3}$=0,97 м^2/м^2	U_1=0,413	$U_2a_{2.3}$=0,382	74,32
Линейный элемент 1	$l_1 = 0{,}315\ м^{-1}$	ψ_1=0,0477	$\psi_1 l_1$=0,015	2,75
Линейный элемент 2	$l_{2.1} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.1}$=0,0745	$\psi_{2.1} l_{2.1}$=0,0026	0,48
	$l_{2.2} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.2}$= -0,215	$\psi_{2.2} l_{2.2}$=-0,0075	-1,4
Линейный элемент 3	$l_{3.1} = 0{,}371 м^{-1}$	Ψ_3= 0,138	$\Psi_3 l_3$=0,222	9,5
Линейный элемент 3**	$l_{3.1} = 0{,}371 м^{-1}$	Ψ_3= 0,158	$\Psi_3 l_3$=0,0586	10,57
Итого			0,539	100
Итого**			0,546	100

По результатам вычислений, данные которых для конструктивного решения, выполненного по типу-4 приведены в таблице 3.11 определим значения приведённого

сопротивления теплопередаче для случая определения удельных потерь теплоты через линейный элемент 3 в программном комплексе ANSYS:

$$R_{\text{о}}^{\text{пр}} = \frac{1}{0{,}0777 + 0{,}40 + 0{,}0148 + 0{,}0026 - 0{,}00752 + 0{,}0512} = \frac{1}{0{,}539} = 1{,}85 \ \ \frac{\text{м}^2 \cdot ℃}{\text{Вт}}, \quad (3.56)$$

Для рассматриваемого варианта конструктивного решения (тип-4), в существующей редакции СП 230.1325800.2015 данный тип узла отсутствует.

Приведённое сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции (тип-4) для случая определения удельных потерь теплоты через линейный элемент 3 с учётом нахождения эффективной теплопроводности:

$$R_{\text{о}}^{\text{пр}} = \frac{1}{0{,}0777 + 0{,}40 + 0{,}0148 + 0{,}0026 - 0{,}00752 + 0{,}0586} = \frac{1}{0{,}547} = 1{,}83 \ \ \frac{\text{м}^2 \cdot ℃}{\text{Вт}}, \quad (3.57)$$

Для рассматриваемого фрагмента ограждающей конструкции (тип-4), расхождения значений удельных потерь теплоты между численными вычислениями и значениями полученных при расчёте эффективной теплопроводности составило 0,0074 Вт/(м·°С). При расчёте приведённого сопротивления теплопередаче эта разница составила 1 % .

3.6 Выводы по главе

На основе выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1) предложена универсальная математическая модель тепломассопереноса для расчёта трёхмерных температурных полей в узлах сопряжения диска перекрытия со стеной, учитывающая теплотехническую неоднородность конструкции с различными геометрическими параметрами шага перфорации;

2) результаты численного моделирования температурных полей узлов сопряжения диска перекрытия со стеной в трёхмерной постановке, показали, что зоны пониженных температур наблюдаются на расстоянии до 0,313 м от внутренней поверхности стены с учётом того, что температуры наружного воздуха задавались в диапазоне от 0℃ до -50 ℃; указанные результаты меньше тех значений, которые были зафиксированы в ходе натурного обследования;

3) впервые предложен инженерный способ определения эффективной теплопроводности участка диска перекрытия, снабжённого перфорацией под термовкладыши;

4) разработана компьютерная программа по определению эффективной теплопроводности участка диска перекрытия с перфорацией;

5) определено, что конструктивное решение, выполненное по типу-1 является базовым и не рекомендуется к применению из-за отсутствия теплозащитных мероприятий и возможности промерзания, что оказывает значительное влияние на эксплуатационные качества здания;

6) определены удельные потери теплоты через фрагмент узла сопряжения диска перекрытия со стеной для каждого из рассматриваемых типов конструктивного решения, включая предложенный способ по вычислению эффективной теплопроводности;

7) определены расчётные значения приведённого сопротивления теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции для рассматриваемых типов узлов сопряжения диска перекрытий со стеной с учётом предлагаемой инженерного способа по нахождению эффективной теплопроводности;

8) выявлен вклад каждого из рассматриваемых типов узлов сопряжения диска перекрытий со стеной в общие тепловые потери здания.

Анализ полученных результатов расчёта свидетельствует о том, что в зоне контакта наружного стенового ограждения и диска перекрытия с перфорацией наблюдаются участки с температурными полями, отрицательные значения которых при определённых условиях становятся причиной образования дефектов в структуре бетонного камня. Данный вопрос требует отдельного изучения с учётом температурно-климатического воздействия на напряжённо-деформированное состояние узлов сопряжения диска перекрытий со стеной.

Глава 4. Напряжённо-деформированное состояние узлов сопряжения диска перекрытия со стеной с учётом температурных воздействий

4.1 Вводные замечания

На территории Российской Федерации для зданий, возводимых по монолитной технологии, в целях повышения их энергоэффективности, в практике строительства наибольшее распространение получило конструктивное решение, в соответствии с предлагаемой классификацией (см. главу 1, рисунок 1.12), относящееся к типу-2.

Подобный тип конструктивного решения, с позиции энергосбережения является наиболее приемлемым и получил широкое распространение в различных регионах России.

О пользе применения такого типа узла сопряжения диска перекрытия со стеной можно увидеть в публикациях ряда авторов, например, Жолобовой Е.А., Ивановой К.С., Харитоновой Н.И., Макаровой Т.В. и др. [61,95,98].

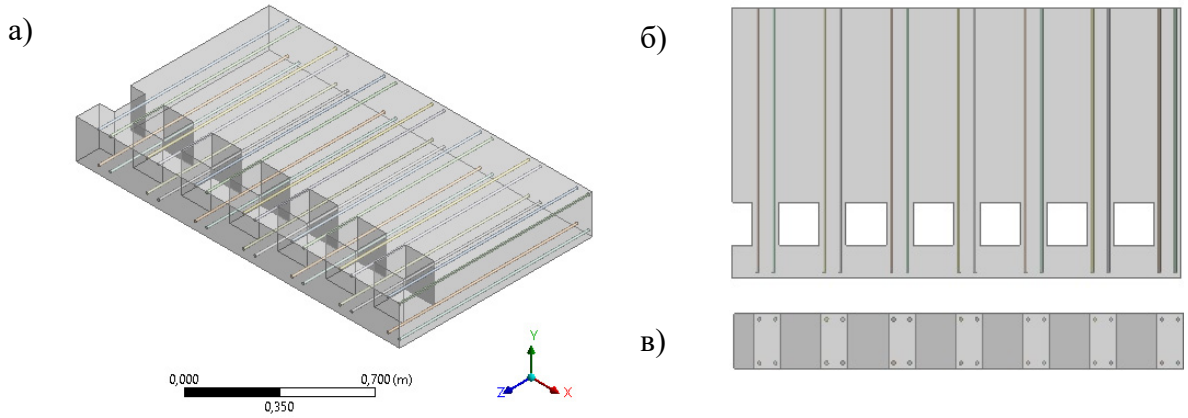
Перспективы дальнейшего применения подобных типов конструктивных решений в практике монолитного домостроения отчетливо прослеживаются в ряде публикаций, включающие сведения из нормативной литературы и патентной аналитики, например [4,113,120, 186,187,190,235].

Однако, в выдвинутых тезисах отсутствует информация о влиянии температур на напряжённо-деформированное состояние плиты в зонах расположения перфорации, возникающих температурных деформациях и механизме образования трещин в теле бетона при таких воздействиях.

В настоящей главе исследуется фрагмент диска перекрытия с перфорацией под термовкладыши с учётом воздействия температуры замыкания, определяемой по методике, изложенной в СП 20.13330.2016 [185] для условий г. Санкт-Петербурга. В качестве такого фрагмента, во внимание принимается конструктивное решение, выполненное по типу-2, как вариант, получивший повсеместное распространение. Для указанного типа была создана трёхмерная параметрическая модель, подробное описание которой приводится далее.

4.2 Описание расчётной модели

На данном этапе исследования напряжённо-деформированного состояния фрагмента диска перекрытия с перфорацией изначальная модель была скорректирована. Результатом такой коррекции послужило включение в модель арматурных стержней[17]. В модуле Design modeler была создана параметрическая модель с последующей интеграцией в среду ANSYS Workbench [163]. Далее, «для анализа НДС плиты перекрытия в зоне перфорации с учётом температурных воздействий был выполнен расчёт фрагмента плиты на угловом участке (при пересечении продольной и поперечной стен) в комплексе конечно-элементного моделирования ANSYS в твердотельной пространственной постановке, предусматривающей моделирование железобетона как гетерогенного материала, состоящего из арматурных стержней и бетона. Ширина плиты расчетного фрагмента принята равной 1 м; длина принималась в соответствии с фиксированным количеством отверстий перфорации – 7 шт. Толщина плиты в расчетной модели принята равной 200 мм, класс бетона В20, класс арматуры А500 (данные характеристики нашли наибольшее применение в монолитном домостроении)» [250 с.10103]. Общий вид расчётной модели фрагмента диска перекрытия с перфорацией приведён на рисунке 4.1.



а) общий вид изометрической проекции модели; б) вид сверху;
в) фронтальный вид со стороны торцевого бруса

Рисунок 4.1. Схема расположения расчётной модели диска перекрытия с перфорацией

[17] Корректировка модели была осуществлена при участии Зимина С.С.

Расчётная модель содержит два типа элементов – плоский конечный элемент и стержни. Значения характеристик бетона класса В20 принимались в соответствии с требованиями СП 63.13330.2018 [196] следующими: начальный модуль упругости $E = 27{,}5 \cdot 10^{-3}$ МПа, коэффициент линейной температурной деформации при изменении температуры от минус 50°С до плюс 50°С принят $\alpha_{bt} = 1 \cdot 10^{-5}$ °С$^{-1}$, начальный коэффициент изменения секущего модуля $\nu_{в,р}=0{,}2$. Для арматуры, модуль упругости $E_s = 2{,}0 \cdot 10^{-5}$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu_{в,р}=0{,}3$, коэффициент температурного расширения $\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-5}$ °С$^{-1}$.

В проводимом исследовании параметры варьирования соответствуют рекомендуемым соотношениям геометрических параметров a/b, принимаемых по данным СП 230.1325800.2015 [187] или таблицы 1 подглавы 1.3.

4.3 Напряжённо-деформированное состояние перфорированного диска перекрытия

Ограждающие конструкции монолитных зданий представляют собой сочетание вертикальных и горизонтальных элементов, испытывающие температурные деформации, вызываемые амплитудными колебаниями температур и действием солнечной радиации [1, 158].

Рассматриваемые типы конструктивных решений относятся к статически неопределимым пространственным системам, представляющие собой монолитную плиту с перфорацией.

Монолитная плита, находящаяся в плоскости ограждающих конструкций в продольном направлении испытывает температурные усилия и деформации. Для определения температурных напряжений в шпоночных соединениях диска перекрытия снабжённого перфорацией предварительно необходимо рассчитать температурные поля в соответствии с методами теории теплопроводности [1,158, 185]. С этой целью был произведён расчёт с учётом влияния температуры замыкания для исследуемого фрагмента конструктивного решения, относящегося к типу-2. Указанный тип является широко распространённым в практике строительства.

4.3.1 Определение температуры замыкания

Расчёты по определению температурно-климатических воздействий на торцевую поверхность диска перекрытия с перфорацией выполнены в соответствии с требованиями п.13 СП 20.13330.2016 [185] для климатических условий г. Санкт-Петербурга, обуславливаемые СП 131.13330.2020 [183], включающие холодный и тёплый периоды года. Подобные расчёты также были отображены в диссертационных исследованиях Зимина С.С. [65] без учёта новейших изменений в СП 131.13330.2020.

Нормативные значения изменения температуры в тёплый и холодный период года определяются по формулам:

$$\Delta \boldsymbol{t_w} = \boldsymbol{t_w} - \boldsymbol{t_{0c}};$$
$$\Delta \boldsymbol{t_c} = \boldsymbol{t_c} - \boldsymbol{t_{0w}}, \quad (4.1)$$

где, t_w , t_c – нормативные средние температуры в тёплый и холодный периоды года по сечению элемента;

t_{0w} ,t_{0c} – начальные температуры замыкания в теплый и холодный периоды года;

Нормативные значения средних температур t_w , t_c и перепадов температур по сечению рассматриваемого элемента в тёплый ϑ_w и ϑ_c холодный периода года определены по п.13.3 и таблице 13.1 СП 20.13330.2016 [185]:

$$t_w = t_{ew} + \Theta_1 + \Theta_4 ,$$
$$t_c = t_{ic}[18] + 0{,}6 \cdot (t_{ec} - t_{ic}) - 0{,}5 \cdot \Theta_2 , \quad (4.2)$$
$$\vartheta_w = \Theta_5 , \ \vartheta_c = 0$$

где t_{ew} , t_{ec} – средние суточные температуры наружного воздуха в тёплый и холодный периоды года, определяемые по п.13.4 СП 20.13330.2016 [185];

Θ_1, Θ_2 – приращение средних по сечению рассматриваемого элемента (торцевого бруса) температур и перепада температур от суточных колебаний температуры наружного воздуха, принимаемое по таблице 13.2 СП 20.13330.2016 [185]. Для рассматриваемого случая $\Theta_1 = 8$ ºС.

[18] $t_{ic} = t_в = 20$°С- температура внутри помещения, принимается по заданию на проектирование;

Θ_4, Θ_5 – приращения средних по сечению элемента температур и перепада температур от солнечной радиации, принимаемые в соответствии с 13.5 СП 20.13330.2016 [185].

Начальные температуры, соответствующие замыканию конструкции, в тёплый t_{0w} и холодный t_{0c} периоды приняты по п.13.6 СП 20.13330.2016 [185]:

$$t_{0w}=0,8\cdot t_{VII}+0,2\cdot t_1=0,8\cdot 18,6+0,2\cdot(-6,5)= 13,58\ °C,$$
$$t_{0c}=0,2\cdot t_I+0,8\cdot t_1=0,2\cdot 18,6+0,8\cdot(-6,5)= -1,48\ °C, \quad (4.3)$$

, где t_I, t_{VII} – многолетние средние месячные температуры наружного воздуха в январе и июле, принимаемые по таблице 5.1 СП 131.13330.2020 [183]: t_I =-6,5°C, t_{VII}= 18,6 °C.

Средние суточные температуры для тёплого и холодного периодов года определены в соответствии с п.13.4 СП 20.13330.2016 [185]:

$$t_{ew}= t_{max}-0,5\cdot A_{VII}\ , =26-0,5\cdot\ 8,2=21,9°\ C$$
$$t_{ec}= t_{min}+0,5\cdot A_I\ =-30+0,5\cdot\ 5,8=-27,1°\ C \quad (4.4)$$

где t_{max}, t_{min} – нормативные значения минимальной и максимальной температуры воздуха, соответственно, принимаемые по картам 4 и 5 приложения Е , СП 20.13330.2016 [185]: t_{max}= 26 °C, t_{min}= - 30 °C;

A_I, A_{VII} – средние суточные амплитуды температуры воздуха наиболее холодного и тёплого месяцев, соответственно, принимаемые по таблице 3.1 СП 131.13330.2020 [183].

Значения приращения средних по сечению элемента температур Θ_4 и перепада температур Θ_5 от солнечной радиации определены в соответствии с п.13.5 СП 20.13330.2016 [185]:

$$\Theta_4=0,05\cdot\rho\cdot S_{max}\cdot k$$
$$\Theta_5=0,05\cdot\rho\cdot S_{max}\cdot(1-k) \quad (4.5)$$

где, ρ – коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности конструкции, принимаемый по таблице 13.3 СП 20.13330.2016 [185]: ρ = 0,7;

S_{max} –суммарная солнечная радиация (прямая, рассеянная и отраженная), поступающая в июле месяце на вертикальную поверхность при безоблачном небе, Вт·ч/м (максимальная часовая сумма) принимается по табл. 13.5 СП 20.13330.2016 [185];

k – коэффициент, принимаемый по таблице 13.6 СП 20.13330.2016 [185]: k=0,6.

Вычисленные параметры для расчёта в тёплый и холодный периоды года сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Значения температурных и климатических параметров для тёплого и холодного периодов года

Тёплый период года			
Параметр	Ориентация по сторонам света		
	Юг	Восток, Запад	Север
t_I	-6,5 °С		
t_{VII}	18,6 °С		
t_{min}	-30,0 °С		
t_{max}	26 °С		
A_I	5,8 °С		
A_{VII}	8,2 °С		
Θ_1	°С	°С	°С
Θ_4	4,0 °С	4,76 °С	1,62 °С
$\vartheta_w = \Theta_5$	6,0 °С	7,15 °С	2,43 °С
S_{max}	666	794	270
ρ	0.7		
k	0,6		
t_w	31,9 °С	32,7 °С	29,5 °С
Δt_w	18,3°С	14,4 °С	15,9 °С
t_{0w}	13,58 °С		
t_{ew}	21,9 °С		

Холодный период года			
Ориентация по сторонам света			
Параметр	Юг	Восток, Запад	Север
t_I	-6,5 °С		
t_{VII}	18,6 °С		
t_{min}	-30,0 °С		
t_{max}	26 °С		
A_I	5,8 °С		
A_{VII}	8,2 °С		
t_c	-10,3 °С		
Δt_c	-23,88 °С		
t_{ow}	-13,58 °С		
t_{0c}	-1,48 °С		
t_{ec}	-27,1 °С		
ϑ_c	0 °С		

Так как режим эксплуатации монолитного здания – отапливаемый, то для рассматриваемого конструктивного решения в соответствии с п. 13.8 СП 20.13330.2016 [185] коэффициент надежности по нагрузке γ_f для температурных климатических воздействий принят равным 1,1. Значения нормативных и расчётных температурных нагрузок приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2– Значения температурных климатических воздействий

Нормативные значения температур, °С			
Параметр	Ориентация по сторонам света		
	Юг	Восток, Запад	Север
Δt_w	18,3°С	14,4 °С	15,9 °С
Δt_c	-23,88 °С		
$\vartheta_w = \Theta_5$	6,0 °С	7,15 °С	2,43 °С
ϑ_c	0 °С		

Расчётные значения температур, °С			
Ориентация по сторонам света			
Параметр	Юг	Восток, Запад	Север
Δt_w	20,13°С	15,84 °С	17,5 °С
Δt_c	-26,27 °С		
$\vartheta_w = \Theta_5$	6,6 °С	7,86 °С	2,67 °С
ϑ_c	0 °С		

Таким образом, расчётные температуры замыкания конструкции для тёплого и холодного периодов года для условий Санкт-Петербурга соответственно составили 20,13°С и минус 26,27 °С. Указанные расчётные температурные нагрузки были приложены к наружной вертикальной поверхности торцевого бруса.

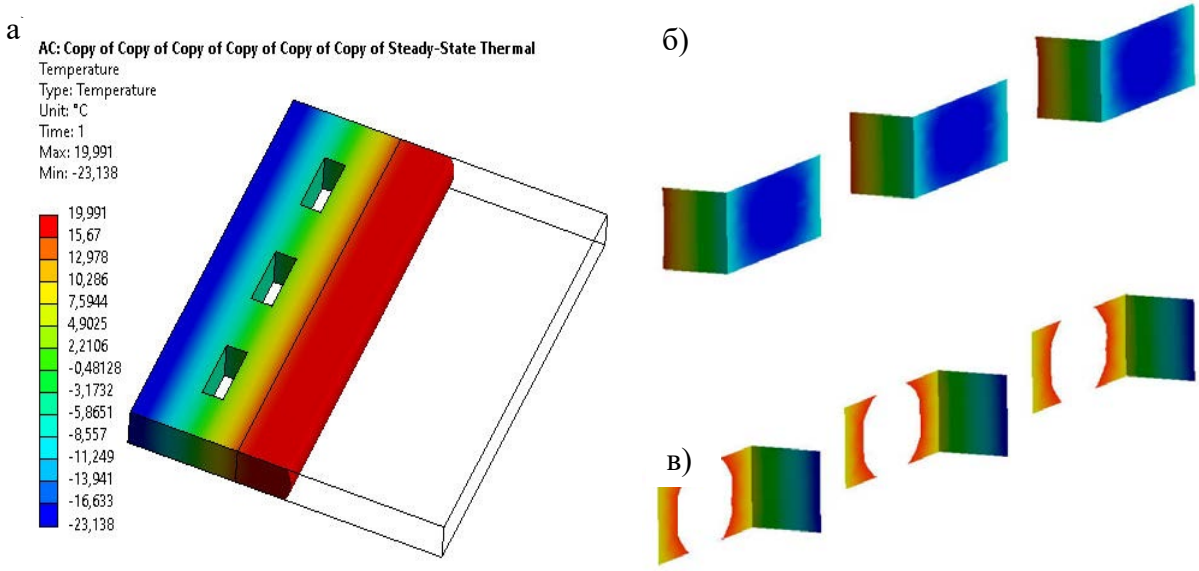
В целях определения динамики влияния температурно-климатических воздействий на напряжённо-деформируемое состояние монолитного диска перекрытия с перфорацией также учитывался диапазон значений температур от 0 °С до минус 50 °С, с шагом равным минус 10 °С. Отдельные результаты и их описание приводятся ниже.

4.3.2 Вариант равномерного распределения температуры

Для конструктивного решения, выполненного по типу-2[19] моделировались температурные поля в стационарных условиях в среде ANSYS при помощи модуля Steady-State-Thermal. Рассматриваемый фрагмент содержал следующие слои: утеплитель-термовкладыш и наружную стеновую конструкцию, характеристики которых соответствуют таблице 3.1. (см. подглаву 3.2). На рисунке 4.2 представлен общий характер распределения температурных полей. Сечения для боковых граней диска перекрытия со стороны перфорации, когда одна из температурных нагрузок с отрицательными значениями приложена к торцу диска перекрытия, показан на рисунке 4.1 б),в).

[19] вариант по типу-2 получил наибольшее распространение в практике монолитного домостроения на территории России

В процессе эксплуатации монолитных зданий, при циклическом воздействии температур внешней среды, наибольшему влиянию подвергаются боковые поверхности шпонок, формирующие остов перфорации, см. рисунок 4.1 б), в). Характер распределения температурных полей свидетельствует о том, что указанные поверхности расположены в зоне попеременного замораживания и оттаивания, что делает эти участки наиболее уязвимыми и может приводить к образованию конденсата и оказывать существенное влияние на прочностные и деформативные характеристики бетонного камня [232, 233].



а) общий вид модели; б) температурные поля на поверхностях перфорации со стороны помещения; в) температурные поля на поверхностях перфорации со стороны улицы

Рисунок 4.2– Распределение температурных полей на боковых гранях перфорации диска перекрытия

В таблице 4.3 представлены отдельные результаты максимальных значений перемещений при различном соотношении a/b и длине диска перекрытия с перфорацией при температуре минус 40°С.

Таблица 4.3– Значения перемещений при различном соотношении a/b и длине диска перекрытия с перфорацией при температуре –40°С

a/b / Параметр	$\frac{100}{100}$	$\frac{200}{100}$	$\frac{300}{100}$	$\frac{400}{100}$	$\frac{500}{100}$
Длина плиты L ,мм	1350	2000	2650	3300	3950
Перемещения Δ_{max}, мм	0,82	0,948	1,042	1,134	1,228

На рисунке 4.3. представлена диаграмма относительных перемещений для диска перекрытия с соотношением a/b: $\frac{100}{100}$, $\frac{200}{100}$, $\frac{300}{100}$, $\frac{400}{100}$, $\frac{500}{100}$, при внешнем воздействии отрицательной температуре минус 40 °С.

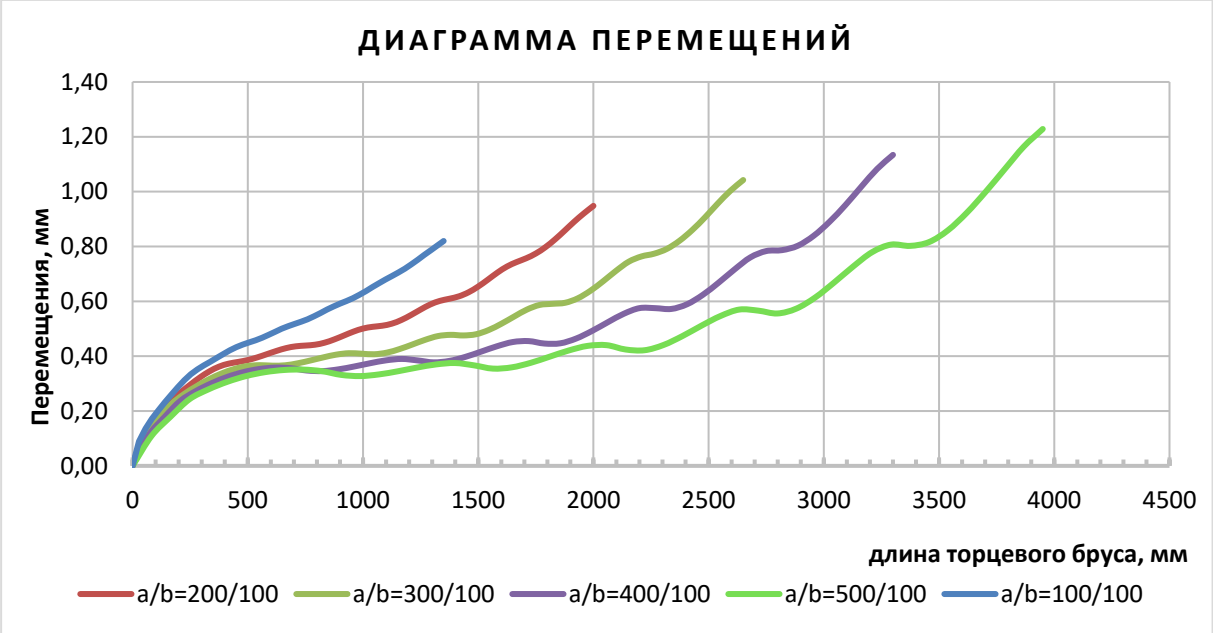
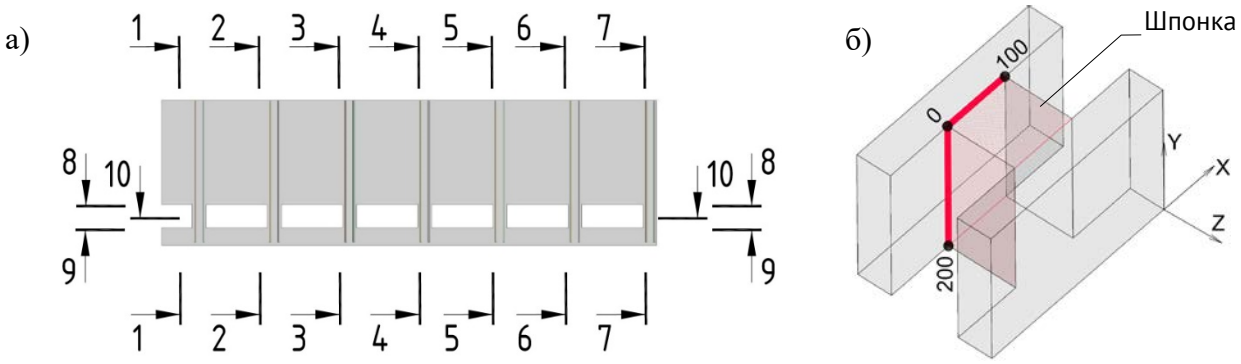


Рисунок 4.3– Диаграмма перемещений для диска перекрытия с перфорацией, выполненной в соотношении a/b: $\frac{100}{100}$, $\frac{200}{100}$, $\frac{300}{100}$, $\frac{400}{100}$, $\frac{500}{100}$ и действии наружной температуры воздуха $t_н$= - 40°С

Как можно заметить из приводимой диаграммы, чем большее соотношение a/b, тем выше максимальные значения перемещений. Исследования показали, что при действии отрицательных температур в продольном направлении плиты возникают наибольшие относительные перемещения укорочения. Различная длина плиты обусловлена тем, что в рассматриваемой параметрической модели шаг перфорации оставался неизменным, а варьируемые параметры изменялись исходя из задаваемых соотношений a/b.

4.4 Особенности напряжённо-деформированного состояния перфорированного диска перекрытия

Статический анализ исследуемой конструкции был выполнен в среде ANSYS при совместной работе модулей Steady-State-Thermal и Static Structural. Расчёт нормальных и касательных напряжений проводился с учётом изменяемых геометрических параметров, граничных условий и расчётных температурных нагрузок, значения которых для условий С-Петербурга представлены в таблице 4.2. На рисунке 4.4 представлена общая схема расположения сечений в поперечном и продольном направлениях, включающая фрагмент пространственного положения шпонки в конструкции диска перекрытия, соответствующий типу-2.

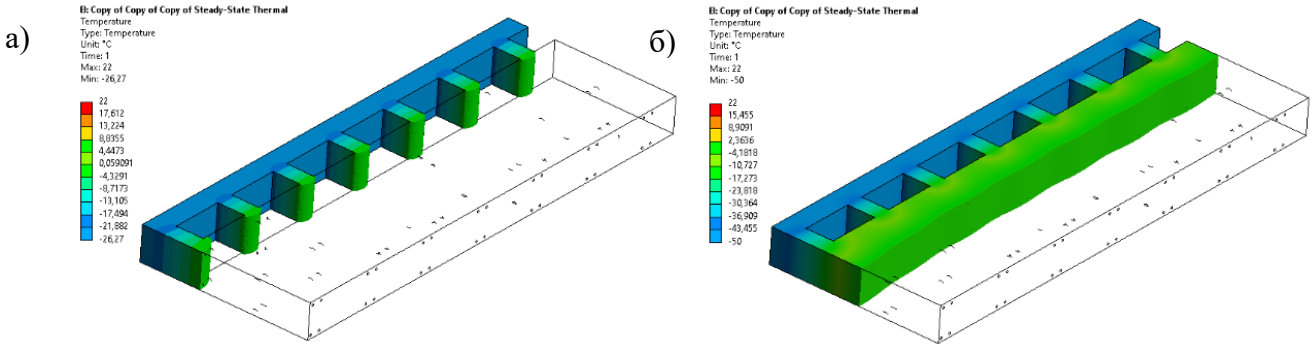


а) сечения в поперечном (1-1…7-7) и продольном (8-8…9-9) направлениях;
б) исследуемые поверхности фрагмента шпонки, образованный секущими плоскостями

Рисунок 4.4 – Схема расположения сечений диска перекрытия с перфорацией и трёхмерным фрагментом пространственного положения шпонки

Расчёт нелинейной конечно-элементной модели фрагмента диска перекрытия с перфорацией при соотношении a/b равном 100/100, 300/100, 500/100 проводился при эксплуатации здания в холодный и тёплый периоды года для условий Санкт-Петербурга, расчётные значения температур составили: Δt_c = -26,27 °С, Δt_w=20,13 °С. При расчёте температурных полей и НДС диска перекрытия с перфорацией также учитывались параметры наружных температур в диапазоне от 0 °С до минус 50 °С, когда наибольшее развитие усадки несущих и ограждающих конструкций здания происходит с понижением температуры.

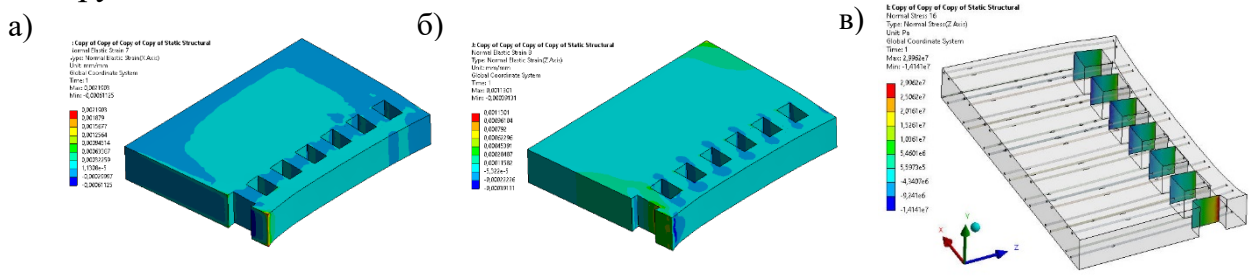
На рисунке 4.5 показан общий характер распределения температурных полей с областью отрицательных значений температур для любого фрагмента диска перекрытия с перфорацией, относящегося к типу-2. Как видно из рисунка 4.4 а), при расчёте НДС с учётом влияния температуры замыкания в холодный период года для условий Санкт-Петербурга, зона отрицательных температур охватывает участки, включающие торцевой брус и соединительные шпонки. Тогда как при действии температуры наружного воздуха равной минус 50 °С (см. рисунок 4.4 б) глубина охвата отрицательных и близких к 0 °С температур распространяется также и на участок плиты без перфорации.



а) с учётом температуры замыкания в холодный период года для условий Санкт-Петербурга при Δt_c = -26,27 °С, Δt_w=20,13 °С; б) при действии температуры наружного воздуха $t_н$ = -50 °С

Рисунок 4.5 – Область распределения температурных полей перфорированного участка диска перекрытия в зоне действия температур ниже 0 °

Результаты статического расчёта с учётом температурных воздействий представлен на рисунках 4.6-4.17 в виде изополей нормальных напряжений в направлениях осей X, У, Z и эпюр нормальных $б_z$ и касательных τ_{yz} напряжений. Полученные значения сравнивались с расчётным сопротивлением растяжению Rbt = 0,81 МПа для бетона класса В20 в соответствии с СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции».



а) изополя нормальной упругой деформации $б_x$; б) изополя нормальной упругой деформации $б_z$; в) изополя нормальных напряжений $б_z$ на боковых гранях шпонок

Рисунок 4.6– НДС диска перекрытия при соотношении a/b=100/100

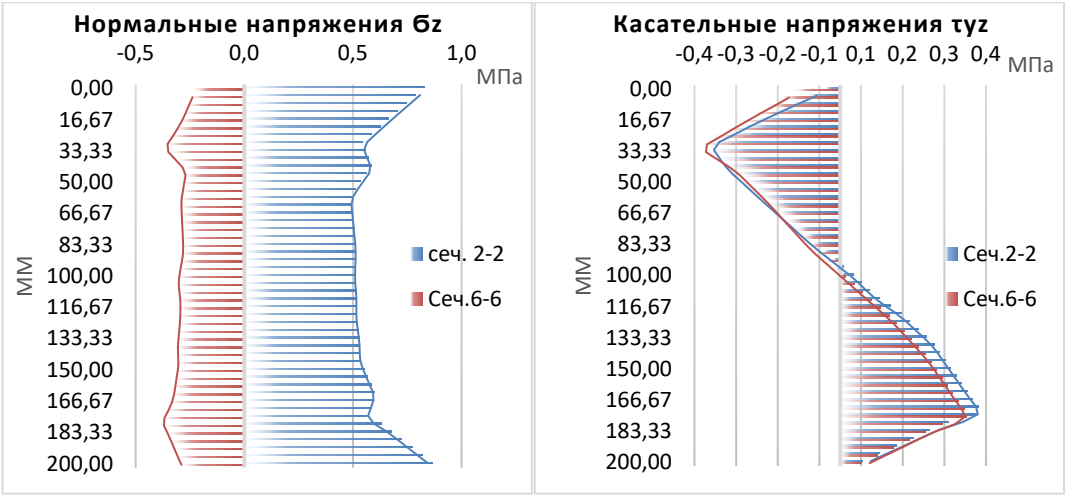


Рисунок 4.7– Нормальные и касательные напряжения в сечениях с 1-1, 6-6 при соотношении a/b=100/100 и действии температуры замыкания в холодный период года Δt_c = -26,27 °C, Δt_w=20,13 °C

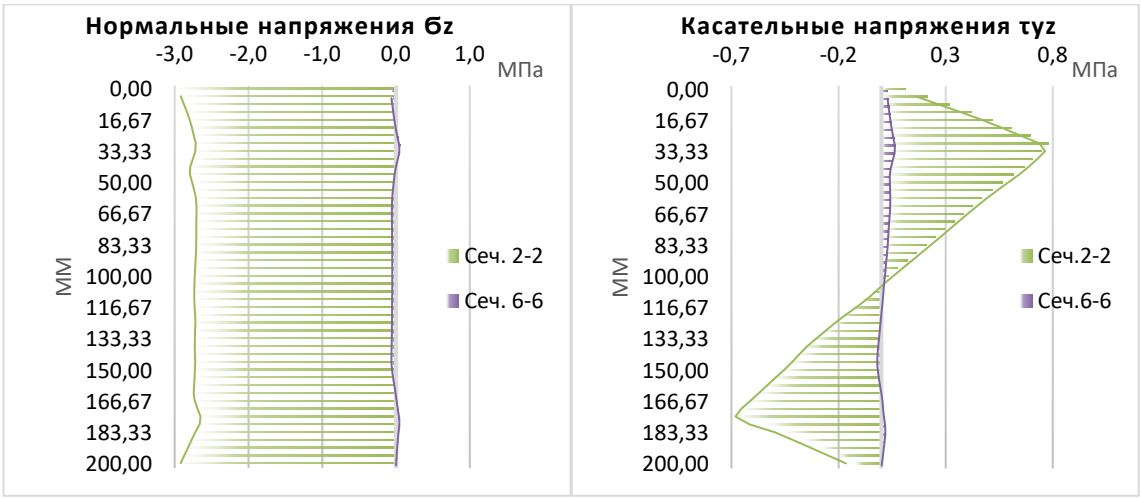


Рисунок 4.8– Нормальные и касательные напряжения в сечениях с 1-1, 6-6 при соотношении a/b=100/100 и действии температуры замыкания в тёплый период года Δt_w=20,13 °C, Δt_c = -26,27 °C

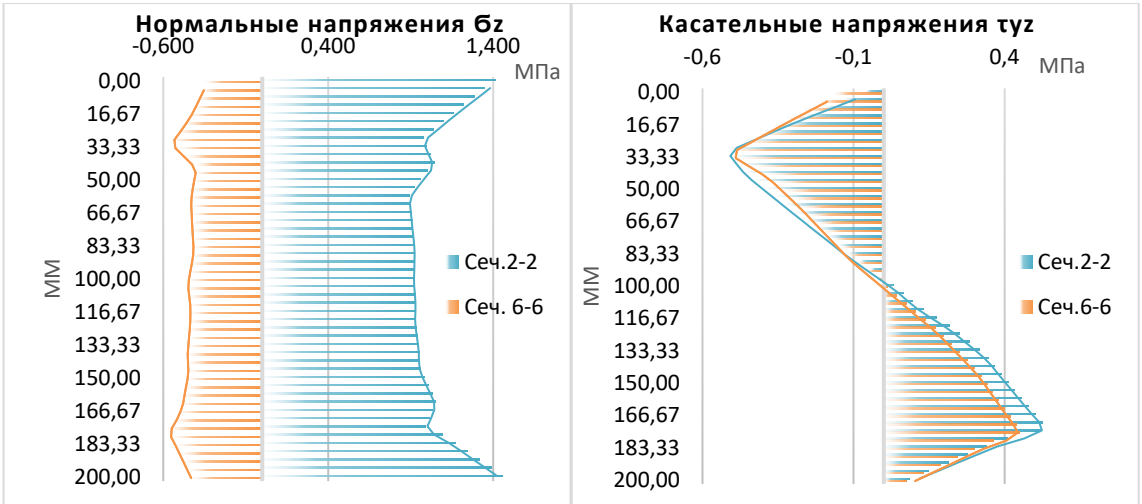
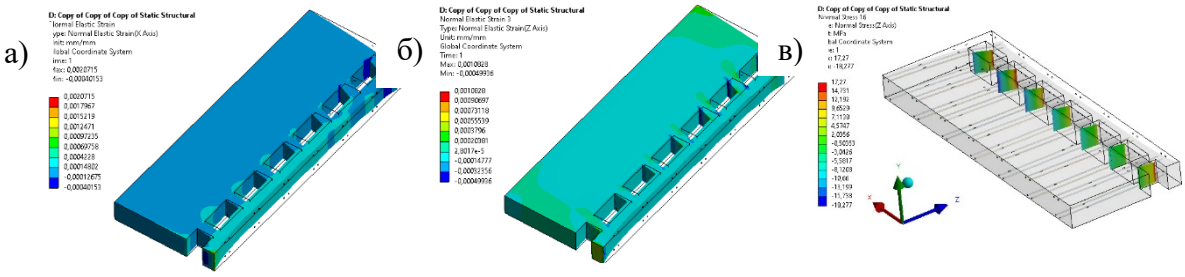


Рисунок 4.9– Нормальные и касательные напряжения в сечениях с 1-1, 6-6 при соотношении a/b=100/100 и действии наружной температуры $t_н$=-50 °C



а) изополя нормальной упругой деформации $б_x$; б) изополя нормальной упругой деформации $б_z$; в) изополя нормальных напряжений $б_z$ на боковых гранях шпонок

Рисунок 4.10– НДС диска перекрытия при соотношении a/b=300/100

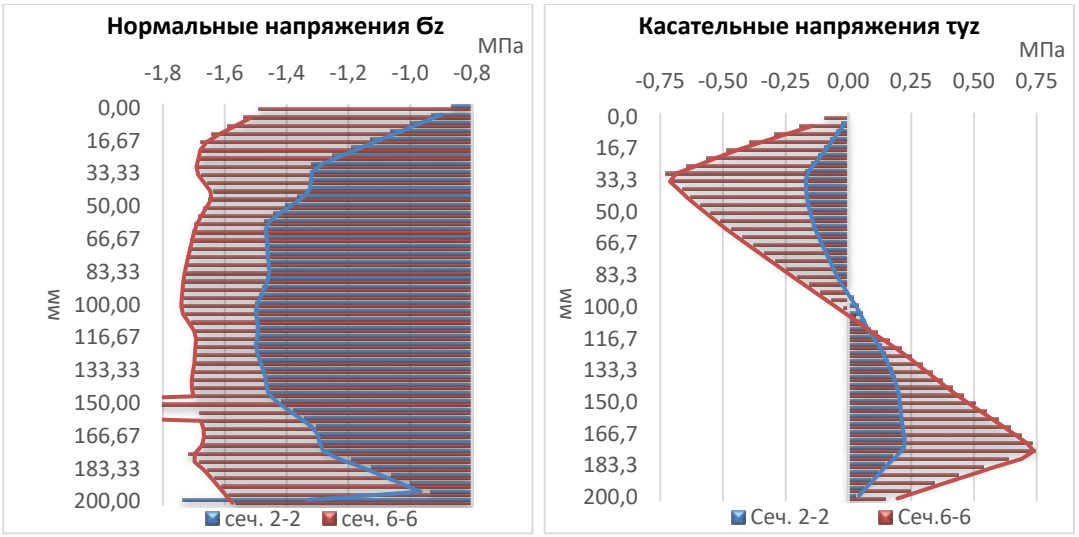


Рисунок 4.11– Нормальные и касательные напряжения в сечениях с 1-1, 6-6 при соотношении a/b=300/100 и действии температуры замыкания в холодный период года Δt_c = -26,27 °C, Δt_w=20,13 °C

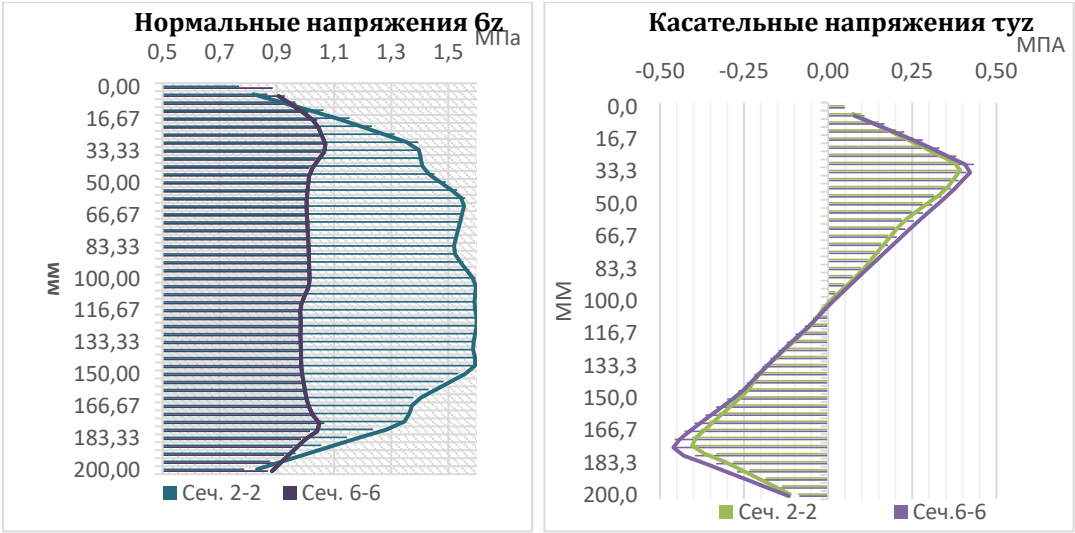


Рисунок 4.12– Нормальные и касательные напряжения в сечениях с 1-1, 6-6 при соотношении a/b=300/100 и действии температуры замыкания в тёплый период года Δt_w=20,13 °C, Δt_c = -26,27 °C

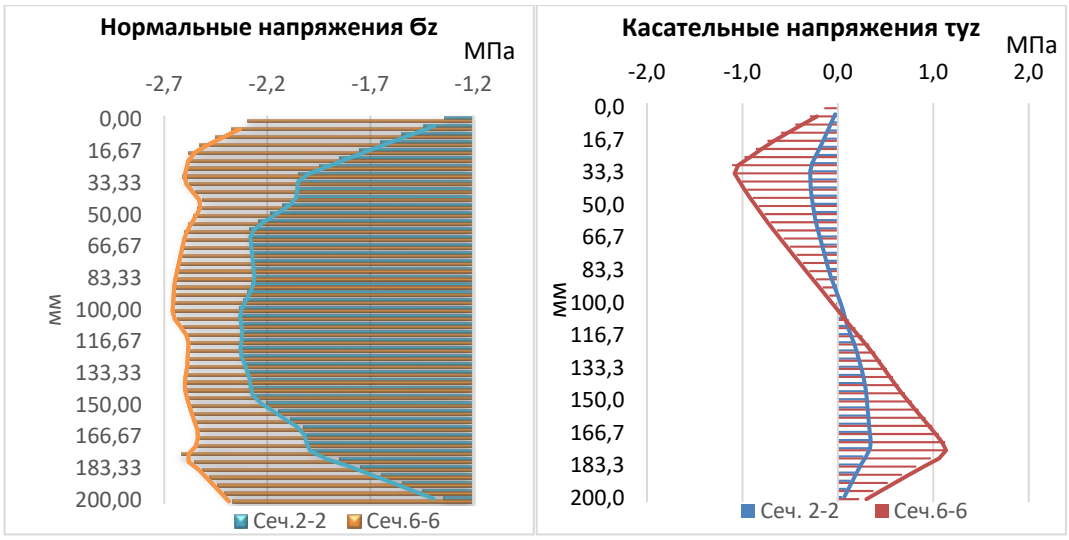
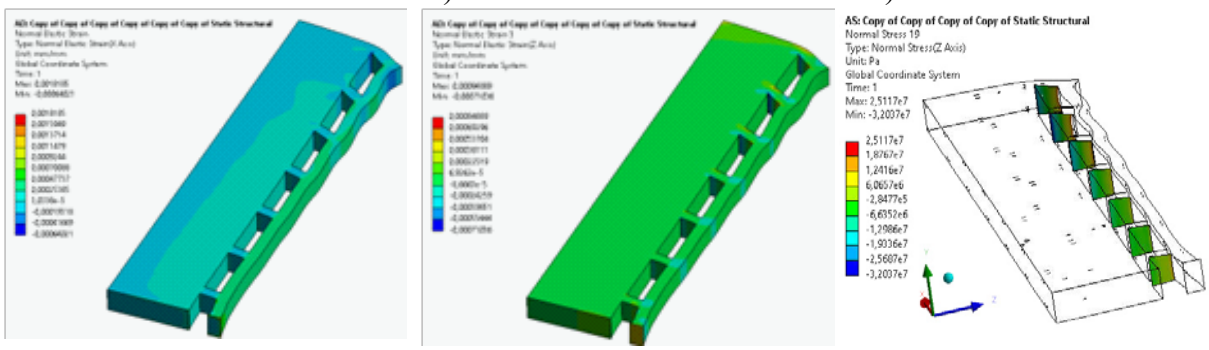


Рисунок 4.13– Нормальные и касательные напряжения в сечениях с 1-1, 6-6 при соотношении a/b=300/100 и действии наружной температуры $t_н$=-50 °С

а) б) в)



а) изополя нормальной упругой деформации $б_x$; б) изополя нормальной упругой деформации $б_z$; в) изополя нормальных напряжений $б_z$ на боковых гранях шпонок

Рисунок 4.14– НДС диска перекрытия при соотношении a/b=500/100

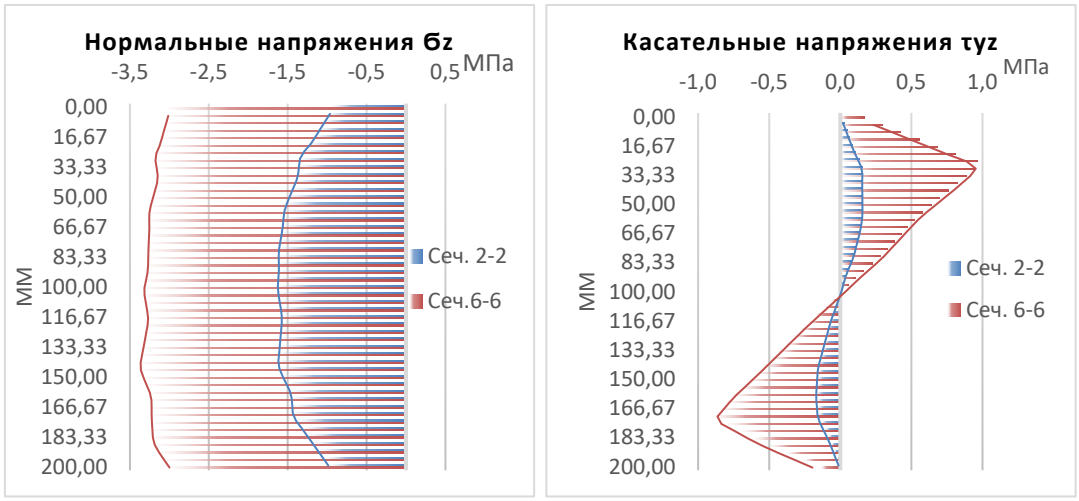


Рисунок 4.15– Нормальные и касательные напряжения в сечениях с 1-1, 6-6 при соотношении a/b=100/100 и действии температуры замыкания в холодный период года Δtc = -26,27 °С, Δtw=20,13 °С

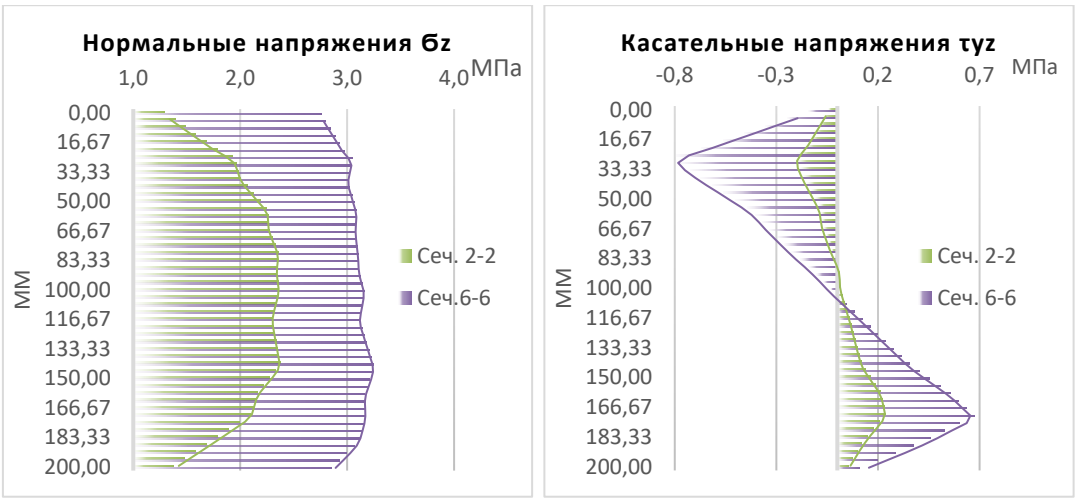


Рисунок 4.16– Нормальные и касательные напряжения в сечениях с 1-1, 6-6 при соотношении a/b=500/100 и действии температуры замыкания в холодный период года Δtc = -26,27 °C, Δtw=20,13 °C

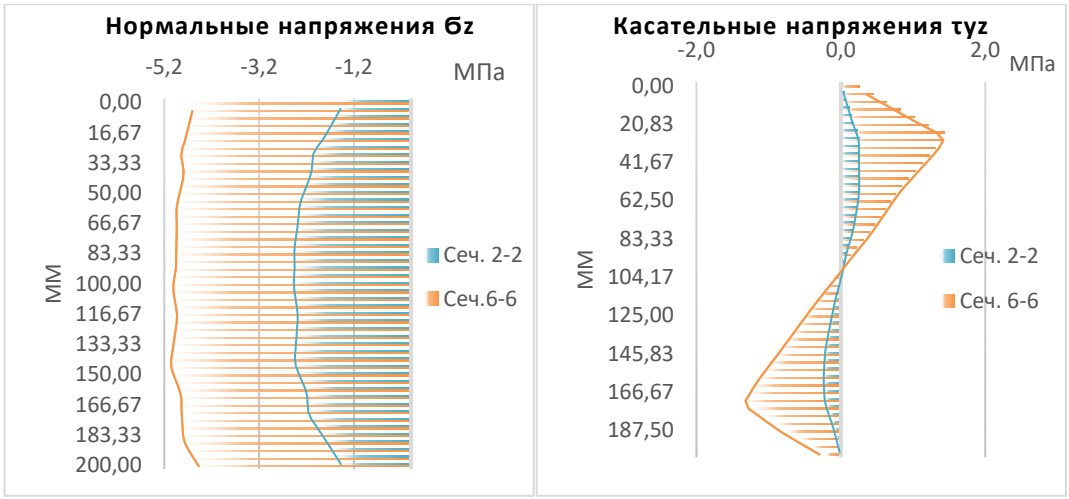


Рисунок 4.17– Нормальные и касательные напряжения в сечениях с 1-1, 6-6 при соотношении a/b=500/100 и действии наружной температуры tн= -50 °C

Анализ проводимых численных исследований показал, что наибольшие напряжения возникают в местах соединения перфорации шпонками и превосходят нормативные значения расчётного напряжения в 1,4 раза. Например, для соотношения a/b равного 100/100 значения нормальных напряжений бz составили 1,16 МПа с учётом температурно-климатических воздействий в холодный период года.

В таблице 4.4 показаны значения максимальных и минимальных значений напряжений в сечениях 2-2/8-8, 6-6/8-8 при соотношениях a/b: 100/100; 300/100; 500/100.

Таблица 4.4 – Максимальные и минимальные значения напряжений в сечениях 2-2/8-8, 6-6/8-8 при соотношениях a/b: 100/100; 300/100; 500/100

Температурное воздействие	Положение	Сечение	a/b					
			100/100		300/100		500/100	
			$б_{min}$, МПа	$б_{max}$, МПа	$б_{min}$, МПа	$б_{max}$, МПа	$б_{min}$, МПа	$б_{max}$, МПа
Холодный период Температура замыкания	Боковая грань	2-2	0,4915	0,8651	-1,7362	-0,8658	-1,6264	-0,9332
	Центр шпонки		0,5278	1,1691	-0,4445	0,4706	-0,3354	0,5794
	Боковая грань	6-6	-0,3786	-0,2302	-3,4313	-1,4890	-3,3729	-2,9654
	Центр шпонки		-0,0216	0,0529	-0,7460	-0,0531	-0,5933	-0,1186
Теплый период Температура замыкания	Боковая грань	2-2	-2,9433	-2,6272	0,7682	1,6010	1,2920	2,3730
	Центр шпонки		-2,9519	-2,1922	-1,0605	0,2539	-1,0333	0,4392
	Боковая грань	6-6	-0,0680	0,0563	0,8683	1,0759	2,7582	3,2481
	Центр шпонки		0,0361	0,1258	-0,2912	0,1641	-0,4275	0,1551
$t_н$= -50 °C	Боковая грань	2-2	0,8931	1,4592	-2,3334	-1,3381	-2,4719	-1,4267
	Центр шпонки		0,91599	1,9163	-0,6786	0,76318	-0,5029	0,8970
	Боковая грань	6-6	-0,5667	-0,3419	-2,6611	-2,2933	-5,0702	-4,4214
	Центр шпонки		-0,14840	0,08718	-1,1159	-0,07569	-0,9240	-0,1522

В связи с тем, что железобетонная плита относится к материалам, обладающим большой инерционностью, при определённых климатических воздействиях зона образования температуры точки росы будет происходить на поверхностях шпонок. При этом, запущенные процессы микро– и макроскопической сегрегации льда в структуре бетонного камня будут ускорять процессы разрушения из-за действия агрегатного состояния воды [70, 114, 152]. В связи с этим, необходимо ставить вопрос об опасности применения подобного рода конструктивного решения в жилищном строительстве и о разработке инновационных способов защиты узлов сопряжения диска перекрытия со стеной в монолитных зданиях.

Результаты обследования плит перекрытий в зоне устройства перфорации показывают, что в строительной практике, зачастую, перфорацию устраивают со значительными отступлениями от проектных значений. В частности, при обследовании зданий выявляется нерегулярность шага перфорации и относительно широкий диапазон значений a и b. В холодный период года, в отапливаемых зданиях рас-

сматриваемого типа, разрушение защитного слоя бетона возникает в зоне знакопеременных температурных воздействий. В перфорированном диске перекрытия, такой характер многоциклового температурного влияния приводит к появлению трещин и деструкции бетона на боковых поверхностях шпонок. В отдельных случаях, образование характерных трещин наблюдалось в этой же зоне ещё до ввода здания в эксплуатацию.

4.5 Выводы по главе

Результаты проводимых исследований показали следующее:

1) в холодный период года, в отапливаемых зданиях рассматриваемого типа, разрушение защитного слоя бетона возникает в зоне знакопеременных температурных воздействий;
2) в диске перекрытия с перфорацией, характер многоциклового температурного влияния приводит к появлению трещин и деструкции бетона на боковых поверхностях шпонок. В отдельных случаях, образование характерных трещин наблюдалось в этой же зоне ещё до ввода в эксплуатацию здания;
3) анализ результатов численного моделирования показал, что при действии отрицательных температур наружного воздуха, наибольшие напряжения возникают в местах соединения перфорации шпонками и превосходят нормативные значения расчётного напряжения в 1,4 раза. Например, для соотношения a/b равного 100/100 значения нормальных напряжений σ_z составили 1,16 МПа с учётом температурно-климатических воздействий в холодный период года;
4) в диске перекрытия при определённых температурно-климатических воздействиях зона образования температуры точки росы будет происходить на внутренних гранях шпонок. При этом, запущенные процессы микро– и макроскопической сегрегации льда в структуре бетонного камня будут ускорять процессы разрушения из-за действия агрегатного состояния воды;

Выполненные расчётно-теоретические исследования показали, что ставиться вопрос об опасности применения существующих типов конструктивных решений в практике монолитного домостроения и строительная отрасль нуждается в разработке инновационных подходов, позволяющих усилить эксплуатационные качества . узлов сопряжения диска перекрытия со стеной в монолитных зданиях.

Глава 5. Предлагаемые конструктивные решения узлов сопряжения дисков перекрытий со стеной

В настоящей главе предлагается усовершенствовать существующие конструктивные решения и разработать новые, позволяющие обеспечить высокие теплотехнические качества наружных ограждающих конструкций и снизить влияние термических напряжений в узловых соединениях диска перекрытия, снабжённого перфорацией под термовкладыши, в процессе эксплуатации с учётом многоциклических температурных воздействий. В целях повышения энергоэффективности зданий монолитной конструкции, были разработаны различные варианты конструктивных решений, защищённые патентами на полезную модель Российской Федерации. Помимо обеспечения комфортных условий проживания людей, предлагаемые конструкции позволяют решить проблемы, связанные с температурными деформациями и их влиянием на риск обрушения наружных ограждающих конструкций в зданиях, возведённых по монолитной технологии, в состав которых входит узел сопряжения диска перекрытия со стеной. Поставленная задача является многофакторной. Поэтому в основу её методологического решения численными методами было включено два этапа. На первом этапе был проведён расчёт температурных полей и определены характеристики удельных теплопотерь в модуле Steady state thermal в программе ANSYS. Далее осуществлялся теплофизический анализ предлагаемых конструктивных решений с позиции обеспечения их энергоэффективности и обеспечения комфортных условий проживания людей. На втором этапе в модуле ANSYS Static Structural для рассматриваемой конструкции в напряжённо-деформированном состоянии выполнялся статический расчёт совместно с полученными результатами термального анализа вычисленных на предыдущем этапе. Затем был проведён анализ и дана сравнительная оценка динамики изменений продольных деформаций, нормальных и касательных напряжений по отношению к конструктивным решениям, рассмотренных в главе 4.

5.1 Описание усовершенствованных и новых конструктивных решений узлов сопряжения дисков перекрытий со стеной

По теме диссертационной работы было получено 9 патентов на полезную модель, как единолично автором, так и в соавторстве с Белаш Т.А., Дёминым А.М., Калушиным В.М., Левиным П.Е., Левиной Ю.А., Мартировым В.Б., Щербаковой О.В. [144,142,143,141,140,145,146,147,148]. В виду того, что подробное раскрытие информации по предлагаемым техническим решениям содержится в том числе и в международных патентных базах, дальнейшее их описание будет базироваться на обобщающих принципах. Из всех предлагаемых конструктивных решений рассмотрим те из них, которые комплексно позволяют выполнить задачи по обеспечению требуемых эксплуатационных качеств, например:

– повышение теплозащитных качеств узлов сопряжения диска перекрытия со стеной и смещение зоны расположения точки росы с внутренних поверхностей ограждающих конструкций;

– комфортных условий проживания в холодный период года;

– ремонтопригодности и адаптации к погодным условиям;

– снижение влияние термических напряжений при действии отрицательных температурах наружного воздуха в узлах сопряжения диска перекрытия со стеной.

Эти задачи достигаются путём совершенствования узлов сопряжения дисков перекрытий со стеной, применяемых в настоящее время в практике строительства и разработки новых конструктивных решений.

Предлагаемые усовершенствованные и новые конструктивные решения были адаптированы в виде различных вариантов (варианты $1^{а}$, $1^{б}$, $2^{а}$, $2^{б}$) для узлов сопряжений дисков перекрытий со стеной, относящихся к существующим типам 1,2 (см. главу 1). В этой главе рассматривается подробное описание этих решений, а также возможность их применения в составе теплозащитной оболочки зданий, возводимых по монолитной технологии. Проводимое исследование выполнялось с учётом температурно-климатических воздействий и напряжённо-деформированного состояния.

5.1.1 Усовершенствованное устройство для повышения тепловой защиты зданий (вариант 1)

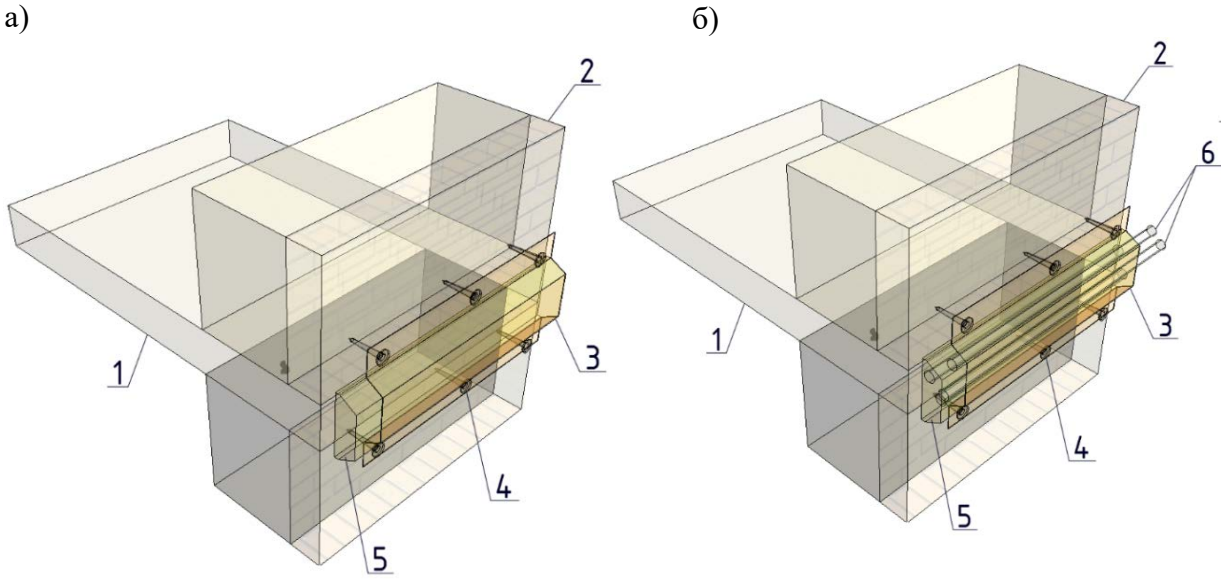
Предлагаемое конструктивное решение для утепления наружной стены здания [140,145] выполнено по варианту 1 в двух модификациях и представлено на рисунке 5.1. Рассматриваемый фрагмент узла сопряжения диска перекрытия (1) с наружной стеной (2) адаптирован для плит перекрытий в виде базового исполнения (перекрытие без утеплителя (тип-1)) и с перфорацией в соотношении a/b (тип-2) и является усовершенствованным конструктивным решением.

Технический результат достигается тем, что рассматриваемый фрагмент узла сопряжения диска перекрытия (1) со стеной (2) содержит каркас (3) с вертикальными стенками на опорных участках. На этих участках предусмотрены отверстия под дюбель-анкеры (4) для крепления к фасаду. Пространство между каркасом и наружной стеной заполнено теплоизоляционным материалом (5). Описываемое решение относится к варианту 1^{a} и представлено на рисунке 5.1. а).

Дальнейшая модификация такого конструктивного решения в основном сохраняет все признаки варианта 1^{a}, проиллюстрированным на рисунке 5.1 б). Однако, существенным отличием является наличие саморегулируемого электронагревательного кабеля (6).

Эти решения направлены в первую очередь на устранение мостиков холода и сокращение влияния наружных отрицательных температур на температурные деформации и напряжения, возникающие в лицевом слое наружной кладки в зоне контакта с диском перекрытия, а также в местах шпоночных соединений плиты с перфорацией.

Представленное на рисунке 5.1 а) конструктивное решение (вариант 1^{a}) нашло отражение в практике строительства и было включено в региональные методические документы – РМД 51-25-2015 (первое издание), РМД 51-25-2018 (переиздание) [161] для условий г. Санкт-Петербурга. Выдержка из этого документа, с примером реализации, показана на рисунке 5.2 .

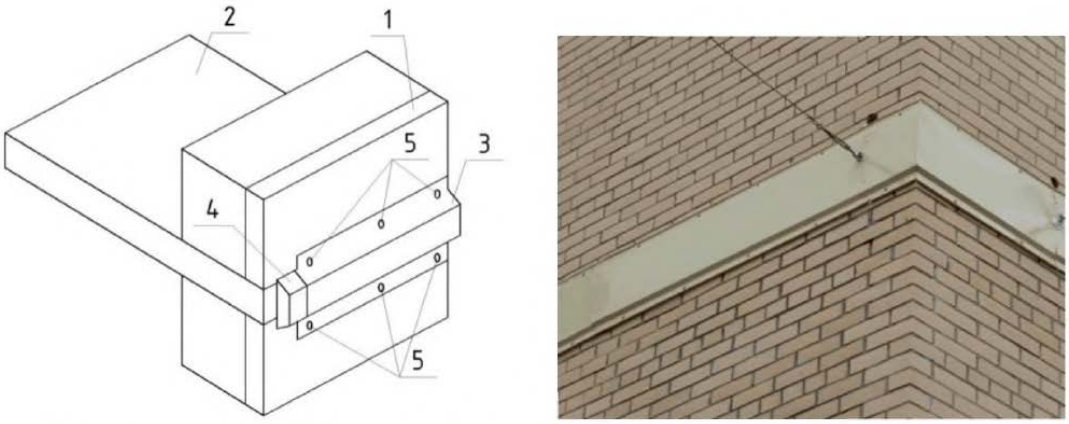


а) вариант 1[а]; б) вариант 1[б]

1- диск перекрытия; 2- наружная стена; 3- каркас трапецеидальной формы; 4–отверстия под дюбель-анкеры; 5– теплоизоляционный материал;

6- саморегулируемые электронагревательные кабели

Рисунок 5.1– Устройство для утепления наружной стены здания. Вариант 1



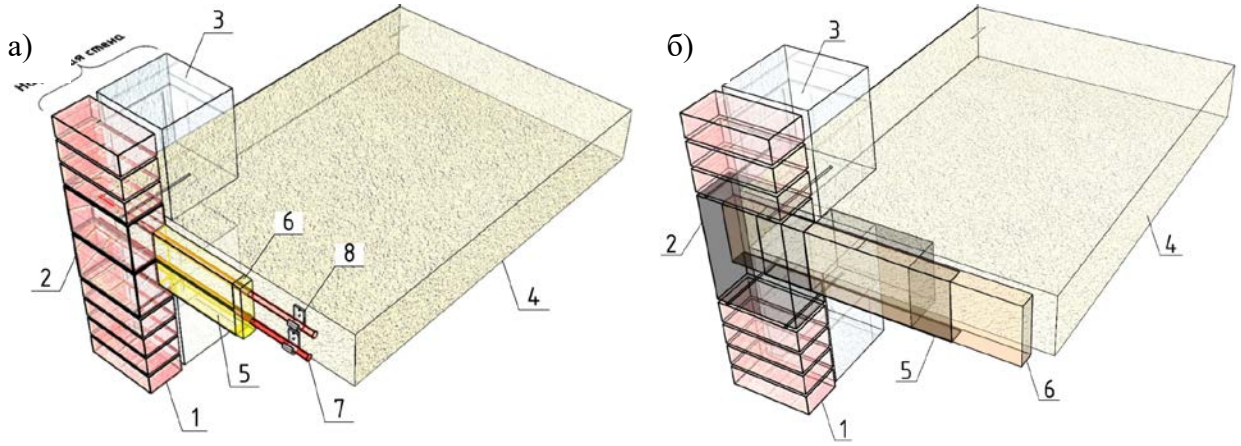
1 – лицевой слой стены, 2 – перекрытие, 3 – защитный стальной либо пластиковый профиль с герметиком, 4 – теплоизоляция, 5 – элементы крепления к стене

Рисунок 5.2– Устройство для утепления наружной стены здания[20], выполненное по типу варианта 1[а]

[20] Иллюстрация заимствована из п. 13.16, рисунок 13.3 Облицовка торцов перекрытий декоративным карнизом, см. РМД 51-25-2018 [161].

5.1.2 Предлагаемое устройство для повышения тепловой защиты зданий (вариант 2)

Устройство для повышения теплозащитных качеств наружной стены (1,2 3) здания [146, 148], представленное на рисунке 5.3, является новым конструктивным решением. Конструктивное исполнение этого решения может включать в себя плиту перекрытия в базовом варианте (перекрытие без утеплителя (тип-1)) и с перфорацией в соотношении a/b (тип-2), а также содержать два варианта модификации.



а) вариант $2^{а}$ с Г-образным блоком; б) вариант $2^{б}$ с П-образным блоком.
1- наружный слой стены; 2- модифицируемый каменный блок; 3- внутренний слой стены; 4-диск перекрытия; 5- слой отражающей изоляции; 6- теплоизоляционный материал; 7- саморегулируемые электронагревательные кабели; 8- элементы крепления

Рисунок 5.3– Вариант 2

Между торцом диска перекрытия (4) и каменными блоками (2) различной конфигурации предусмотрено пространство для размещения материала с отражательной способностью (5), слоя негорючего утеплителя (6) и саморегулируемых электронагревательных кабелей (7), монтируемых при помощи специальных крепёжных клипс (8) к торцу перекрытия (4).

Для вариантов 1,2 в ANSYS были выполнены расчёты, проведён анализ и дана оценка, обосновывающая эффективность применения предлагаемых конструктивных решений в структуре теплозащитной оболочки здания с учётом влияния температурных полей на температурные напряжения диска перекрытия снабжённого перфорацией.

5.2 Исследование предлагаемых конструктивных решений узлов сопряжения диска перекрытия со стеной (термический анализ)

Для предлагаемых конструктивных решений, выполненных по вариантам 1, 2 проводился численный анализ в программной среде ANSYS с использованием модуля Steady state thermal. Параметры граничных условий при моделировании фрагмента теплозащитной оболочки здания учитывали его стационарный характер режима эксплуатации. На основе расчёта температурных полей и тепловых потоков по известным инженерным методикам были составлены таблицы удельных тепловых потерь для исследуемых узлов сопряжения диска перекрытия со стеной. Полученные значения сравнивались с нормативными, приводимыми в СП 230. 1325800 [187]. Далее проводились расчёты приведённого сопротивления теплопередаче фрагмента наружной ограждающей конструкции здания и выполнялся сравнительный анализ с некоторыми типами конструктивных решений, рассмотренных в главе 3. Затем была дана оценка эффективности применения предлагаемых решений в практике строительства с позиции создания комфортных условий для проживания людей.

5.2.1 Постановка задачи исследования температурных полей

Предлагаемые технические решения, защищённые патентами на полезную модель [141, 140, 145, 146, 147, 148] были адаптированы под рассматриваемые узлы сопряжения диска перекрытия со стеной. В качестве основы исследования послужили конструктивные узлы, относящиеся к типам-1,2. Их подробное описание, включая геометрические параметры, теплофизические характеристики, и граничные условия были приняты в соответствии с табличными данными из главы 3. Конструктивные решения включали в себя модификацию из 8-ми вариантов, сформированную в виде структурной схемы, см. рисунок 5.4.

Рисунок 5.4 – Структурная схема конструктивных решений, принятых к расчёту

Температурные поля для рассматриваемых вариантов решались численными методами в трёхмерной постановке. Алгоритм математической модели подробно описан в главе 3. Граничные условия для варианта, содержащего трапецеидальный каркас со слоем теплоизоляции, приняты IV рода. В случае, когда предлагаемое конструктивное решение содержало внутренний источник тепла (саморегулируемый электронагревательный кабель) были применены граничные условия I рода.

Указанная на рисунке 5.4 структурная схема состоит из восьми вариантов, которые включают два подварианта, состоящих из двух пар конструктивных решений внутри которых предусмотрены некоторые модификации узлов сопряжения диска перекрытия со стеной, включающих, в том числе, два типа рассматриваемых конструкций, относящихся к типу-1 и типу-2, каждому из которых соответствуют предлагаемые инновационные решения.

Эти 8 вариантов были рассмотрены с позиции обеспечения таких эксплуатационных качеств, как: соблюдение необходимых теплозащитных параметров, санитарно-гигиенических норм, а также условий безопасности.

Для конструктивных решений, относящихся к типам-1,2 (варианты 1б, 2а,2б) в качестве дополнительного источника тепла служили два саморегулируемых электронагревательных провода, значения внутреннего тепловыделения которых (Internal Heat Generation) составило $5 \cdot 10^5$ Вт/м^3, а значение температуры излучаемой поверхности составило 15°С; для типов-1,2 (вариант 2б) значения коэффициентов излучения ε от металлизированной поверхности, поверхности железобетонного диска перекрытия и саморегулируемых электронагревательных кабелей соответственно составили 0,04; 0,85 и 0,78.

Исследование усовершенствованных и новых конструктивных решений выполнялось методами численного моделирования в среде ANSYS. Результаты расчётов трёхмерных температурных полей, предлагаемых конструктивных решений, приводятся в Приложении Б. Полученные значения обрабатывались по известным методикам, основная суть которых содержится в ряде нормативных документов, например СП 50.13330, СП 230.1325800 [186,187,189,193].

Результаты исследований показаны в сводной таблице 5.1 с учётом полученных значений в главе 3 и Приложении Б.

Таблица 5.1 – Приведённое сопротивление теплопередаче существующих и предлагаемых вариантов конструктивных решений.

приведённое сопротивление теплопередаче $R_o^{пр}$, $\frac{м^2 \cdot °C}{Вт}$	Тип-1					Тип-2				
	Вариант					Вариант				
	Базовый[21]	1а	1б	2а	2б	a/b=300/100 [22]	1а	1б	2а	2б
	1,24	1,32	1,47	1,49	1,52	1,47	1,55	1,72	1,6	1,61

Для оценки эксплуатационных качеств был проведён сравнительный анализ, в части теплофизических параметров. Рассмотрим основные результаты, выполненных исследо-

[21] – значения получены по результатам расчёта для Типа-1, см. табл. 3,7, 3,8 , главу 3
[22] – значения получены по результатам расчёта для Типа-2, см. табл. 3,9 , главу 3

ваний, для конструктивных решений по вариантам 1,2, в которых диск перекрытия выполнен без перфорации (тип-1), а значения приведённых сопротивлений теплопередачи превосходят базовое, равное 1,24 $\frac{м^2 \cdot °C}{Вт}$ в пределах 6,45% и 18,5 % для вариантов $1^а$ и $1^б$ соответственно; для вариантов $2^а$ и$2^б$ эти значения соответственно составили 20,16% и 22,6%.

Для случая, когда в качестве аналога рассматривается фрагмент стенового ограждения с перфорированным диском перекрытия (тип-2) с соотношением a/b=300/100 и приведённым сопротивлением теплопередаче равным 1,47 $\frac{м^2 \cdot °C}{Вт}$, значения приведённых сопротивлений теплопередаче для вариантов $1^а$, $1^б$, $2^а$, $2^б$ отличались от прототипа в бóльшую сторону на 5,4%; 17%; 8,8; 9,5% соответственно.

Также, для конструктивного решения, выполненного по типу-2 (варианты $2^а$, $2^б$) дополнительно проводилась адаптация приведения неоднородного участка перекрытия с перфорацией к однородному при помощи инженерного способа определения эффективной теплопроводности, подробно рассмотренного в главе 3. С учётом предлагаемого способа для вариантов $2^а$,$2^б$ и перфорированного диска перекрытия с соотношением a/b равным 300/100 были определены приведённые сопротивления теплопередаче, значения которых составили 1,56 $\frac{м^2 \cdot °C}{Вт}$ (тип-2. Вар.$2^а$); 1,57 $\frac{м^2 \cdot °C}{Вт}$ (тип-2. Вар.$2^б$).

Сравнительный анализ показал, что различия между значениями приведённого сопротивления теплопередаче для участка диска перекрытия с перфорацией, полученные как с учётом применения инженерного способа по определению эффективной теплопроводности, так и без него, для рассматриваемых случаев не превышает 2,5%.

Оценка результатов, полученных в ходе проводимых исследований, свидетельствует о том, что предлагаемые усовершенствованные и новые конструктивные решения по сравнению с существующими аналогами, позволяют повысить эксплуатационные качества зданий рассматриваемого типа.

Таким образом, предлагаемые усовершенствованные и новые конструктивные решения могут быть рекомендованы для практического применения.

5.2 Исследование напряжённо-деформированного состояния узлов сопряжения диска перекрытия со стеной для предлагаемых вариантов

Эксплуатационные качества здания включают в себя также и оценку механических показателей. В связи с этим, следующий этап исследования включал в себя анализ напряжённо-деформированного состояния предлагаемых конструктивных решений для узла сопряжения диска перекрытия со стеной, выполненных по типу-2. Отдельные значения осреднённых температур были получены в ходе численного моделирования усовершенствованных и новых конструктивных решений, с учётом температурно-климатических воздействий для условий Санкт-Петербурга и приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2– Значения температур на торцах диска перекрытия

Тип и вариант конструктивного решения	Температура со стороны торца $t_{торец}$, °С	Температура со стороны торца со слоем отражательной изоляции $t_{торец\ отраж.}$, °С
Тип-2. Вариант 1[а]	-15,813	-4,806
Тип-2. Вариант1[б]	-6,703	-4,572
Тип-2. Вариант 2	-14,531[23]	1,751[24]

Указанные в таблице 5.2 осреднённые значения температур, определённые на предыдущем этапе исследования, были использованы в качестве граничных условий. Рассматриваемые сечения подробно описаны в главе 4. На рисунке 5.5 красным отмечены линии вертикальных и горизонтальных граней, попавшими в секущие области, соответствующих зон сечений 2-2/8-8, 6-6/8-8 для которых были построены эпюры нормальных σ_z и касательных τ_{yz} напряжений при температурах со стороны торцевого бруса равных минус 15,813 °С и 1,751 °С.

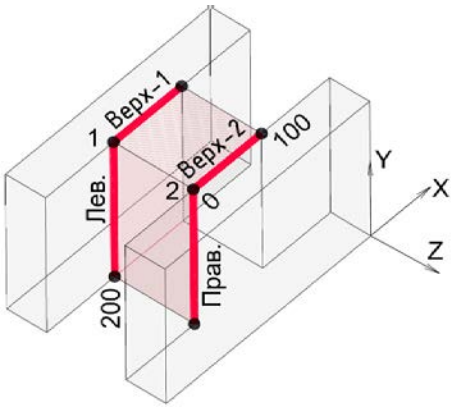


Рисунок 5.5– Схема расположения расчётных точек в любом месте сечения диска перекрытия с перфорацией под термовкладыши

[23] Значение температуры соответствует конструктивному решению, выполненного по типу-2, вар. 2а.
[24] Значение температуры соответствует конструктивному решению, выполненного по типу-2, вар. 2б.

Исследовался наиболее характерный фрагмент узла сопряжения диска перекрытия со стеной, у которого шаг перфорации a/b принят в соотношении 300/100. Рассматриваемый участок является универсальным и позволяет реализовать численными методами учёт температурно-климатических воздействий, оказываемых на конструктивные решения, относящиеся как к усовершенствованным так и новым.

Отдельные результаты численного моделирования перфорированного диска перекрытия представлены на рисунках 5.6-5.7 в виде эпюр нормальных бz и касательных τ_{yz} напряжений (при толщине диска перекрытия, равного 200 мм).

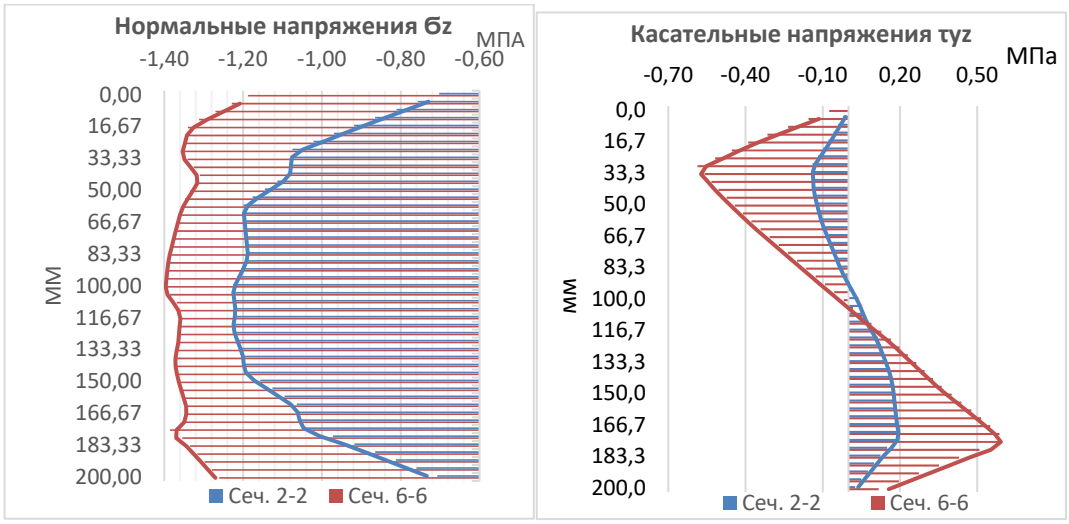


Рисунок 5.6– Нормальные и касательные напряжения по толщине элемента для сечений 2-2/8-8 и 6-6/8-8 при соотношении a/b=300/100 и наружной температуре со стороны торца диска перекрытия t= – 15,813 ºС. Тип-2. Вариант 1[а]

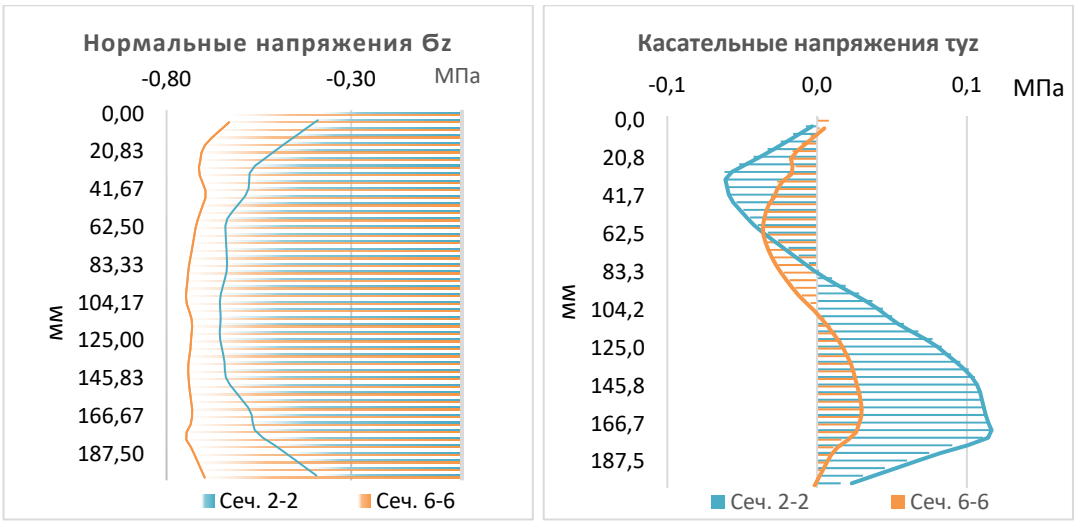


Рисунок 5.7– Нормальные и касательные напряжения по толщине элемента для сечений 2-2/8-8 и 6-6/8-8 при соотношении a/b=300/100 и наружной температуре со стороны торца диска перекрытия t= 1,715 ºС. Тип-2. Вариант 2

Для конструктивного решения, относящегося к типу-2, вариант 1[а] при действии на торцевой брус осреднённой температуры минус 15,813 °С в сечениях 2-2/8-8 и 6-6/8-8 значения нормальных напряжений не превосходят расчётное сопротивление сжатию Rbt =0,81 МПа. Данный факт свидетельствует о том, что при эксплуатации в более суровых условиях необходимо предусмотреть для предлагаемого усовершенствованного узла дополнительную теплоизоляцию.

В случае применения конструктивного решения со слоем отражательной изоляции (см. тип-2, вариант 2), осреднённая температура на вертикальной грани торцевого бруса по результатам расчёта температурных полей принималась равной 1,751°С. Для указанного случая в сечениях 2-2/8-8 и 6-6/8-8 вычисленные значения нормальных напряжений также не превосходят расчетное сопротивление Rbt =0,81 МПа.

Очевидно, что достигаемый эффект при положительном воздействии температур на торец диска перекрытия позволяет снизить влияние напряжений почти в два раза.

5.3 Выводы по главе

По результатам выполненных исследований вытекают следующие выводы:

1) разработаны конструктивные решения по совершенствованию существующих узлов сопряжений дисков перекрытий со стеной для монолитного домостроения;

2) предложены новые конструктивные решения узлов сопряжения дисков перекрытия со стеной, защищённые патентами на полезную модель;

3) доказана эффективность применения, предлагаемых конструктивных решений, с учётом особенностей их эксплуатации;

4) установлено преимущество использования предлагаемых решений путём проведения сравнительного анализа напряжённо-деформированного состояния с уже существующими решениями узлов сопряжения диска перекрытия со стеной;

5) установлено, что применение рассматриваемых вариантов конструктивных решений узлов сопряжения диска перекрытия со стеной для случаев, когда в диске

перекрытия предусмотрено устройство перфорации под термовкладыши, позволяет значительно уменьшить максимальные напряжения в шпоночных соединениях, а также снизить влияние линейных деформаций на ограждающие конструкции в целом по сравнению с существующими типами;

6) разработаны таблицы удельных потерь теплоты ψ, Вт/(м°·С) для новых конструктивных решений, используемые в проектной практике строительства, дополняющие СП 230.1325800.2015 «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей»;

7) сравнительный анализ показал, что различия между значениями приведённого сопротивления теплопередаче для участка диска перекрытия с перфорацией, полученные как с учётом применения инженерного способа по определению эффективной теплопроводности, так и без него, для рассматриваемых случаев не превышает 2,5%;

8) выполнено практическое внедрение отдельных результатов исследования, в частности, при разработке пункта 13.16 раздела 13 «Мероприятия по улучшению тепло-влажностного состояния многослойных каменных стен» регионального методического документа по строительству в Санкт-Петербурге РМД 51-25-2018 «Рекомендации по проектированию, монтажу и эксплуатации фасадных систем для нового строительства, реконструкции и ремонта жилых и общественных зданий в Санкт-Петербурге». Часть II. Рекомендации по эксплуатации и ремонту фасадных систем для нового строительства и реконструкции жилых и общественных зданий в Санкт-Петербурге», введённые в действие распоряжением Комитета по Строительству от 10.04.2018 №57-р.

Заключение

Из анализа результатов выполненных исследований, вытекают следующие выводы:

1) на основе анализа и систематизации применяемых типов конструктивных решений узлов сопряжения дисков перекрытий со стенами в зданиях, возводимых по монолитной технологии, выявлены характерные дефекты и повреждения наружных ограждающих конструкций в домах рассматриваемого типа;

2) выявлено, на примере застройки Санкт-Петербурга, несоответствие теплотехнических показателей для реализованных конструктивных решений узлов сопряжения диска перекрытия с наружными стенами нормативным требованиям с учётом реального влияния температурно-климатических воздействий в натурных условиях;

3) разработана универсальная математическая модель тепломассопереноса для расчёта трёхмерных температурных полей в узлах сопряжения диска перекрытия со стеной, учитывающая теплотехническую неоднородность конструкции с различными геометрическими параметрами шага перфорации;

4) с использованием численного моделирования определены удельные потери теплоты и приведённые сопротивления теплопередаче через фрагмент узла сопряжения диска перекрытия со стеной для усовершенствованных и предлагаемых типов конструктивных решений;

5) предложен инженерный способ определения эффективной теплопроводности перфорированного участка диска перекрытия и показана результативность его использования при вычислении теплотехнических показателей, а именно: показатели рассчитанные с применением эффективной теплопроводности отличаются от показателей вычисленных по нормативной методике, изложенной в СП 230.1325800, не более чем на 5% при одинаковых исходных данных;

6) разработана программа для ЭВМ, реализующая предложенный инженерный способ определения эффективной теплопроводности перфорированного участка диска перекрытия;

7) по результатам многофакторного анализа напряжённо-деформированного состояния диска перекрытия, снабжённого перфорацией под термовкладыши, с учётом геометрических параметров перфорации и температурно-климатических воздействий, установлены причины уязвимостей, появление которых связано с высокими значениями нормальных и касательных напряжений, превышающие предельно допустимые при отрицательных значениях температуры наружного воздуха в диапазоне от 0°С до минус 50°С, приводящие к начальной локализации разрушения;

8) предложены усовершенствованные и новые конструктивные решения узлов сопряжения диска перекрытия с наружными стенами и разработаны практические рекомендации по их применению в практике монолитного домостроения;

9) разработаны таблицы удельных потерь теплоты ψ, Вт/(м°·С) для новых конструктивных решений, используемые в проектной практике строительства, дополняющие СП 230.1325800.2015 «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей».

Перспективой дальнейшего изучения темы исследования являются: развитие методов мониторинга технического состояния узлов сопряжений дисков перекрытия со стенами, включая балконы (лоджии), с целью предотвращения возможных случаев прогрессирующего обрушения с учётом температурно-климатических воздействий; внедрение предлагаемых и разработка новых конструктивных решений, направленных на повышение эксплуатационных качеств монолитных зданий; включение в состав нормативных документов отдельных результатов диссертационного исследования.

Список литературы

1. Александровский, С. В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменения температуры и влажности с учетом ползучести бетона / С. В. Александровский ; Науч.-исслед., проект.- конструкт. и технол. ин-т бетона и железобетона (НИИЖБ). - Изд. 3-е, перераб. и доп. - М. : Науч.-исслед., проект.- конструкт. и технол. ин-т бетона и железобетона (НИИЖБ), 2004. - 712 с.

2. Алексеев, Г.В., Ананичева М. Д., Анисимов О. А. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации /[Г. В. Алексеев, М.Д. Ананичева, О.А. Анисимов и др. ; ред.: В.В. Ясюкевич и др.] Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). – Москва: Росгидромет, 2014. – 1007 с.

3. Альбом технических решений на применение наружных стеновых панелей, изготавливаемых по СТО 94672705-003-2009 для многоквартирных жилых домов. Домостроительный комбинат «Славянский». С-Петербург, 2009. С. 29.

4. Альбом технических решений по применению теплоизоляционных изделий из пенополиуретана в строительстве жилых, общественных и промышленных зданий. АТР – СПУ – 02 – 14: материалы для проектирования (издание второе, переработанное и дополненное)/ А.С. Горшков, Н.И. Ватин, Т.А. Дацюк, А.Ю. Безруков, Д.В. Немова, П. Какула, А. Виитанен.– СПб: Изд. Политех-го ун-та, 2014.– 297 с.

5. Ананьев, А. И., Научно-технические основы повышения теплозащитных качеств и долговечности наружных ограждающих конструкций зданий из штучных элементов: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. д.т.н. Спец. 05.23.01: Спец. 05.23.03 / Рос. акад. архитектуры и строит. наук РААСН, Науч.-исслед. ин-т строит. физики НИИСФ.– М.,1998. –39 с.

6. Андрейцева, К.С. Разработка инженерных методик расчета теплотехнических показателей балконного узла: дис. ... кандидата технических наук : 05.23.01 / Андрейцева Кристина Сергеевна; [Место защиты: Науч.-исслед. ин-т строит. физики Рос. акад. архитектуры и строит. наук]. - Москва, 2018. - 161 с.

7. Андрейцева, К.С. Разработка инженерных методик расчёта теплотехнических показателей балконного узла: дис. …канд. тех. наук: 05.23.01/ Андрейцева Кристина Сергеевна – М.:2018, – 161 с.

8. Анохин, Ю.А., Величко, А.А., Демченко, П.Ф. и др. Россия в условиях глобальных изменений окружающей среды и климата / Отв. ред. С.А. Пегов. – М.: ИСА РАН, 1993. – 49 с.

9. Ариевич, Э.М, Коломеец, А.В. и др. Эксплуатация жилых зданий: Справ. пособие/ Э.М. Ариевич, А.В. Коломеец, С.Н. Нотенко, А.Г. Ройтман,- 4-е изд., перераб. и доп.– М.: Стройиздат, 1991.–510 с.

10. Артёмов, М. Д. Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий. Сб. трудов ин-та/ НИИ строительной физики; науч. ред. В. А. Дроздов. – М.: НИИСФ, 1980 (вып. дан. 1981). – 113 с.

11. Архив погоды в Санкт-Петербурге. Режим доступа: http://rp5.ru/archive.php?wmo_id=26063&lang=ru (дата обращения: 18.02.2006)

12. Бардин, В.Е. Вперёд к традициям. Как сократить энергозатраты в строящихся домах. [Электронный ресурс] // Журнал «Строительство и городское хозяйство в Санкт-Петербурге и Ленинградской области» №6 [сайт]. – URL: http://www.stroygorhoz.ru/en6/45.php (дата обращения: 15.02.10). Свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

13. Бардин, В.Е. Стройка на ученый лад. Энергосбережение начинается с проектирования [Электронный ресурс] // Журнал «Строительство и городское хозяйство в Санкт-Петербурге и Ленинградской области» №112 [сайт]. – URL: http://www.stroygorhoz.ru/112/42.php (дата обращения: 15.02.10). Свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

14. Бедов, А.И., Оценка технического состояния, восстановление и усиление оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений/ А.И. Бедов, В.В. Знаменский, А.И. Габитов.– М.: АСВ, 2014.– 704 с.

15. Белаш, Т.А., Кузнецов, А.В. Исследование теплофизических свойств ограждающих конструкций в монолитно-кирпичных домах Санкт-Петербурга// Жилищное строительство. – М.: 2007. - № 10. –с.28-29.

16. Береговой, А. М. Ограждающие конструкции с повышенными теплозащитными качествами. – М.: АСВ; Пенза: ПГАСА, 1999. –312 с.

17. Береговой, А.М.. Здания с энергосберегающими конструкциями : Дис. . д-ра техн. наук : 05.23.01.– Пенза, 2005. - 343 с.

18. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учеб. для вузов. – М.: Высшая школа, 1982. – 415 с.

19. Богословский, В. Н., Титов В. П. Воздушный режим зданий и учёт воздухопроницания в расчёте теплового режима. – Науч. тр. /МИСИ, 1967, вып. 62.

20. Богословский, В. Н., Щелкунов, С. А. Применение теории теплоустойчивости для расчетов режимов регулирования систем кондиционирования микроклимата. – Науч. тр. /МИСИ, 1970, вып. 68.

21. Броннер, Д. Л., Гельберг, Л. А. и др., Пути снижения расходов по эксплуатации жилых домов.– М.: Гос. Изд-во лит. По стр., арх. и стр. мат., 1960.

22. Буга, П.Г. Конструкции гражданских, промышленных и сельскохозяственных зданий. – М.: «Высшая школа», 1987. – 352 с.

23. Власов, О. Е. Основы строительной теплотехники (К курсу отопления и вентиляции). М.: тип. ВИА РККВ, 1938, с.94.

24. Власов ,О. Е. Теплотехнический расчёт ограждающих конструкций. – М.Л.: Госстройиздат, 1933, с.46.

25. Вутке, О. А. Результаты зимних наблюдений за теплотехническим и санитарно-гигиеническим режимом в доме с облегчёнными кирпичными стенами, утеплёнными торфолеумом// НТУ ВСНХ СССР. Гос. Науч-эксп. Ин-т гражд., пром. И инж. Сооружений. Сообщение 6. Жилстроит. сектор. Вып.3.– М.: Гос. Техн. Изд., тип. РИО ВЦСПС. 1929, с. 27.

26. Гагарин, В. Г. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций / В. Г. Гагарин, В. В. Козлов // Строительные материалы. – 2010. – № 12. – С. 4-12.

27. Гагарин, В.Г., Иванов, Д.С., Малявина, Е.Г. Разработка климатической информации в форме специализированного «типового года»// Вестник ВолгГАСУ, серия «Строительство и архитектура», Вып. 31(50), ч.1: «Города России. Проблемы проектирования и реализации», 2013, с.343-349.

28. Гагарин, В. Г. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах / В. Г. Гагарин, К. А. Дмитриев // Строительные материалы. – 2013. – № 6. – С. 14-16.

29. Гагарин, В.Г. Предлагаемые принципы нормирования теплозащиты ограждающих конструкций в новой редакции СНиП «Тепловая защита зданий» [Электронный ресурс]: XXVII конференция и выставка "Москва: проблемы и пути повышения энергоэффективности". Сборник материалов конференции. — Электрон. дан. – М.:АВОК, 2010. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). — Загл. с этикетки диска.

30. Гагарин, В.Г. Применение методики учёта теплотехнических неоднородностей ограждающих конструкций из актуализированной редакции СНиП « Тепловая защита зданий» для расчёта нагрузки на системы отопления и охлаждения зданий/ Гагарин В.Г., Неклюдов А.Ю. Инженерные системы. АВОК– Северо-Запад. 2015. №2. 10-14 с.

31. Гельберг, Л. А., Кац, Ю. М., Эксплуатационные расходы на отопление жилых зданий и содержание лифтов.– М.: Гос. Ком. по гражд. стр-ву и арх-ре при Госстрое СССР , 1966.

32. Голованова, Л. А. Основные аспекты территориального энергосбережения : Учеб. пособие для студентов спец. 290300 "Пром. и гражд. стр-во", 290100 "Архитектура", 290500 "Гор. стр-во и хоз-во", 060800 "Экономика и упр. на предприятии" вузов региона / Л.А. Голованова ; М-во образования Рос.Федерации, Гос. образоват. учреждение высш. проф.образования "Хабар. гос. техн. ун-т". - Хабаровск : Изд-во ХГТУ, 2002. - 115 с.

33. Голованова, Л. А. Основы формирования и оценки результативностирегиональной политики энергосбережения / Л.А.Голованова ; Федер. агентство по образованию, Гос.образоват. учреждение высш. проф. образования "Тихоокеан. гос. ун-т". - Хабаровск : Изд-во ТОГУ,2009. – 210 с.

34. Голованова, Л. А. Формирование региональной политики энергосбережения и оценка ее результативности (на примере Хабаровского края) : диссертация ... доктора экономических наук : 08.00.05 / Голованова Лариса Анатольевна; [Место защиты: Институт экономических исследований Дальневосточного отделения РАН]: 323 с. – Библиогр.: с.3-45.

35. Голованова, Л. А. Энергосбережение в жилищном строительстве / Л.А. Голованова ; Федер. агентство по образованию,Гос. образоват. учреждение высш. проф.образования "Хабар. гос. техн. ун-т". - Хабаровск: изд-во ХГТУ, 2005. – 146 с.

36. ГОСТ 25380-2014. Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции. –М.: Стандартинформ, 2015 – 16 с.

37. ГОСТ 26602.1-99 Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче (с Поправкой). – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2000– 33 с.

38. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: Стройинформ, 2013. –11 с.

39. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Стандартинформ, 2014 год.– 60 с.

40. ГОСТ 32494-2013. Здания и сооружения. Метод математического моделирования температурно-влажностного режима ограждающих конструкций.– М.: Стандартинфо, 2014.– 20 с.

41. ГОСТ 51387-99. «Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения. –М.: Госстандарт, 1999, 32 с.

42. ГОСТ 7076-99. «Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме». М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2000 г. –13 с.

43. ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Основные положения». –М.: Госстандарт, 1999, 16 с.

44. ГОСТ Р 54852-2011 Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций. –М.: Стандартинформ, 2012 – 19 с.

45. ГОСТ Р 54853-2011 Здания и сооружения. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с помощью тепломера. – М.: Стандартинформ, 2012 – 40 с.

46. ГОСТ Р 56502-2015 Системы обеспечения микроклимата новых зданий. Оценка энергетической эффективности при проектировании (Переиздание). –М.: Стандартинформ, 2019 г., 16 с.

47. ГОСТ Р 56623-2015 Контроль неразрушающий. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (Переиздание). – М.: Стандартинформ, 2019. –20 с.

48. ГОСТ Р 56734-2015 Здания и сооружения. Расчет показателя теплозащиты ограждающих конструкций с отражательной теплоизоляцией (Переиздание).– М.: Стандартинформ, 2019. –20 с.

49. ГОСТ Р 59242-2020 Здания и сооружения. Расчет температурного поля узлов ограждающих конструкций. – М.: Стандартинформ, 2021. –12 с.

50. ГОСТ Р 8.585-2001 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования – М.: Стройинформ, 2010. –82 с.

51. Гримитлин, М.И. Распределение воздуха в помещении – СПб.: АВОК Северо-Запад, 2004. – 320 с.

52. Гроздов, В.Т. Признаки аварийного состояния несущих конструкций зданий и сооружений.–СПб, Издательской Дом KN+, 2000.– 48 с.

53. Гройссман, П.Я., Кокнаева, В.В. О влиянии урбанизации на оценки глобального потепления.//Метеорология и гидрология, 1991.- Вып. 9.- С.129.

54. Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я. Обнаружение изменений климата: состояния, изменчивости и экстремальности климата // Всемирная конференция по изменению климата, Москва, 29 сентября–3 октября 2003 г. // Труды. – М.: Паблик-Принт, 2004. – С. 101–110

55. Гурьянов, Н. С. Оценка и обеспечение тепловой надёжности наружных стен эксплуатируемых зданий: Автореферат дис. ….канд. тех. наук. – Н. Новгород, 2003. – 18 с.

56. Дмитриев, А. Н. Энергосберегающие ограждающие конструкции гражданских зданий с эффективными утеплителями [Текст]//:дис. … д.т.н. : Спец.05.23.01 / [Рос. гос. открытый техн. ун-т путей сообщ.]. - М., 1999. - 353 с.

57. Дмитриев, А.Н., Монастырёв, П.В., Сборщиков, С.Б. Энергосбережение в реконструируемых зданиях/ Научное издание– М.: Изд-во АСВ, 2008.–208 с.

58. Егорова, Т. С. Повышение энергоэффективности зданий благодаря устранению критических мостиков холода и непрерывной изоляции выступающих строительных конструкций / Т. С. Егорова, В. Е. Черкас // Вестник МГСУ. – 2011. – № 3-1. – С. 421-428.

59. Елизаров, С.В., Бенин, А.В., Тананайко, О.Д. Современные методы расчёта инженерных конструкций на железнодорожном транспорте. Метод конечных элементов и программа COSMOS/M: Уч. пособ. для студентов вузов железнодор. тр-та/ С.В. Елизаров, А.В. Бенин, О.Д. Тананайко.– СПб.: ПГУПС, 2002.– 226 с.

60. Ермолаев, Н. С. Проблемы теплоснабжения и отопления многоэтажных зданий. – М.: Госстройиздат, 1949.

61. Жолобова, Е. А. О недопустимости отказа от установки термовкладышей в монолитных железобетонных перекрытиях возводимых в г. Ростове-на-Дону жилых зданий с ненесущими стенами / Е. А. Жолобова, К. С. Иванова, Н. И. Харитонова // Актуальные проблемы науки и техники. 2020 : Материалы национальной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 25–27 марта 2020 года / Отв. редактор Н.А. Шевченко. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2020. – С. 1727-1728.

62. Жуковский, В.С. Основы теории теплопередачи. – Л.: Государственное энергетическое издательство, 1960. - 212 с.

63. Закон Российской Федерации «Об энергосбережении» № 28-ФЗ от 3 апреля 1996 г. Опубликован: Собрание законодательства Российской Федерации, N 15, 08.04.96, ст.1551.

64. Зимин, С. С. Причины деструкции кладки наружных стен технического этажа / С. С. Зимин, О. В. Аверьянова, Н. П. Романов // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 12(27). – С. 112-122.

65. Зимин, С.С. Напряженно-деформированное состояние лицевого слоя многослойных каменных стен при климатических температурных воздействиях: дис. канд.тех. наук: 05.23.01. ФГАОУ ВО «СПбПУ».: СПб, 2020.– с.119.

66. Изм. № 3 к СНиП II-3 –79* «Строительная теплотехника». Постановление Минстроя России № 18-81 от 11.08.95.

67. Измеритель теплопроводности ИТП-МГ4. Руководство по эксплуатации Э 12.102.010 РЭ // ООО «Специальное конструкторское бюро Стройприбор». –Челябинск. URL: https://docs.google.com/viewer?url=http%3A%2F%2Fwww.stroypribor.com%2Fnetcat_files%2F316%2F175%2Fmanual_itp.pdf, (дата обращения: 10.01.2022).

68. Израэль, Ю.А., Семенов, С.М., Анисимов, О.А., Анохин, Ю.А., Величко, А.А., Ревич, Б.А., Шикломанов, И.А. Четвертый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата: вклад Рабочей группы II // Метеорология и гидрология. – 2007. – №9. – с. 5–10.

69. Исследования по строительной теплофизике. Сб. статей под ред. Б.Ф. Васильева. Госстройиздат.:М-1959 г.

70. Ищук, М. К. Исследование напряженно-деформированного состояния лицевого слоя из кирпичной кладки при температурно-влажностных воздействиях / М. К. Ищук, А. В. Зуева // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – № 3. – С. 40-42.

71. Ищук, М.К. Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки / Ищук М. К. - Москва : РИФ "Стройматериалы", 2009. - 357 с.

72. Ищук, М.К. Прочность и трещиностойкость каменной кладки наружных многослойных стен: дис. ... д-ра технических наук: 05.23.01 / Ищук Михаил Карпович; [Место защиты: ЦНИИСК им.В.А. Кучеренко]. - Москва, 2019. - 302 с.

73. Карлин, Л.Н., Ефимова, Ю.В., Никифоров, А.В. Некоторые климатические характеристики Санкт-Петербурга в эпоху глобального потепления.// Ученые записки №1: Научно-теоретический журнал. СПб:- РГГМУ, 2005.

74. Кедроливанский, В.Н., Стернзат, М.С. Метеорологические приборы. Измерение метеорологических элементов.-Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1953. – 544 с.

75. Киселёв, И. Я. Влияние теплопроводности и сорбционных характеристик материалов ограждающих конструкций зданий на повышение их теплозащитных свойств: Автореферат дис. … доктора тех. наук. – М, 2003. – 36 с.

76. Киселёв, И.Я. Теплоперенос через волокнистые и ячеистые эффективные теплоизоляционные материалы// Строительная физика в XXI веке: Материалы научно-технической конференции/ Под ред. И.Л. Шубина. –М.: НИИСФ РААСН, 2006. 58-64 с.

77. Климатическая доктрина Российской Федерации (утв. распоряжением Президента РФ от 17 декабря 2009 г. N 861-рп), http://global-climate-change.ru/downl/climate_doct.pdf

78. Кобышева, Н.В. Климат России. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2001. –654 с.

79. Козлобродов, А. Н. Исследование влияния термовкладышей на тепловое состояние теплонапряженных элементов многослойных ограждающих конструкций / А. Н. Козлобродов, Е. А. Иванова, А. В. Головко // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2018. – Т. 20. – № 4. – С. 155-169. – DOI 10.31675/1607-1859-2018-20-4-155-169.

80. Козлов, В. В. Вопросы точности расчета приведенного сопротивления теплопередаче и температурных полей / В. В. Козлов // Строительство и реконструкция. – 2018. – № 3(77). – С. 62-74.

81. Козлов, В. В. Вопросы точности расчета приведенного сопротивления теплопередаче и температурных полей / В. В. Козлов // Строительство и реконструкция. – 2018. – № 3(77). – С. 62-74.

82. Козлов, В.В. Разработка инженерного метода расчёта минимальной температуры на внутренней поверхности конструкции в зоне примыкания балконной плиты к стене/ В.В. Козлов, К.С. Андрейцева// БСТ: бюллетень строительной техники. – 2017.– №6.– 38-39 с.

83. Козлов, П. Г. Эффективный метод устранения мостиков холода с помощью элементов Schöck Isokorb / П. Г. Козлов, Д. Н. Каракесеков, В. И. Данилов // Наука и техника Казахстана. – 2015. – № 3-4. – С. 58-62.

84. Круглова, А.И.. Климат и ограждающие конструкции. М.: Стройиздат, 1970, с.166.

85. Кузнецов, А. В. Конструктивные решения устройств по утеплению узлов сопряжения стен с диском перекрытия гражданских зданий / А. В. Кузнецов // Механика, Транспорт, Комуникации. – 2014. – Т. 12. – № 3. – С. 11-18.

86. Кузнецов, А.В. Вопросы тепловой защиты зданий монолитно-каркасной конструкции в С.-Петербурге// Новые исследования в областях водоснабжения, водоотведения, гидравлики и охраны водных ресурсов// Материалы 3-х академических чтений, проведенных в ПГУПСе 11 и 12 апреля 2006 г. – СПб.: ОМ-Пресс, 2006. – с. 66.

87. Кузнецов, А.В. Дефекты монолитно-каркасных зданий//Информационно-вычислительные технологии и их приложения//Сборник материалов международной научно-технической конференции. –Пенза.: РИО ПГСХА, 2005. – с. 128.

88. Кузнецов, А.В. Исследования энергосберегающих зданий монолитно- каркасной конструкции в Санкт-Петербурге// Ресурсосберегающие технологии в транспортном строительстве и путевом хозяйстве железных дорог//Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической интернет-конференции (15 ноября – 30 декабря 2005 г.). – СПб: ОМ-Пресс, 2006. – с. 121 .

89. Кузнецов, А.В. Недостатки зданий монолитно-каркасной конструкции Санкт-Петербурга//Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2005. –Вып. 3 (5). – с.37.

90. Кузнецов, А. В. Энергоэффективные биопозитивные конструкции в зданиях гражданского назначения для условий Санкт-Петербурга / А. В. Кузнецов // Бюллетень результатов научных исследований. – 2016. – № 3-4(20-21). – С. 44-50.

91. Кузнецов, А. В. Исследования по повышению теплотехнических качеств железобетонных плит перекрытий в монолитно-каркасных домах / А. В. Кузнецов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2011. – № 4(29). – С. 120-127.

92. Кузнецов, А. В. Утепление узлов сопряжения стен с диском перекрытия в монолитных домах / А. В. Кузнецов // Жилищное строительство. – 2013. – № 8. – С. 32-34.

93. Лабораторный практикум по строительной физике / Объедков В.А, Соловьёв А.К., Кондратенков А.Н и др. – М.: Высшая школа, 1979. –221 с.

94. Лобов, И. О., Ананьев, А. И., Кувшинов, Ю. Я. Реализация закона «О техническом регулировании» для проектирования и строительства долговечных энергосберегающих наружных стен зданий // Строительство и городское хозяйство в Санкт-Петербурге и Ленинградской области.- 2005. - № 75. – 92-95 с.

95. Лукашенко, Л. Э. Использование термовкладышей "ПЕНОПЛЭКС" для снижения теплопотерь / Л. Э. Лукашенко // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2019. – № 2-1(46). – С. 81-85.

96. Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. - Москва : Высшая школа, 1967. - 599 с.

97. Львов, Н.А. Русская пиростатика, или Употребление испытанных уже воздушных печей и каминов, посредством коих: 1-е, Нагревается комната наружным воздухом, 2-е Соблюдаются дрова [и т.п.]. Ч. 1-2. – СПб.: Печатано в тип. Корпуса Чужестранных Единоверцев, 1795-1799, Ч.1. 1795, 59 с.; Ч.2. 1799, 56 с.

98. Макарова, Т. В., Котова, К. С., Гойкалова, Е. А., Лихих, Е. С. Основные принципы теплотехнического конструирования балконов и лоджий жилых зданий монолитной технологии возведения // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2021. – № 3-4(45-46). – С. 10-15.

99. Маклакова, Т. Г., Нанасова, С. М. Конструкции гражданских зданий: Учебник под ред. Маклаковой Т.Г. – М.: АСВ, 2000. – 280 с.

100. Малафеев, Е.Д., Некоторые аспекты ресурсо- и энергосбережения/ Малафеев Е.Д., Альметов Ф.М.// Энергоэффективность. Проблемы и решения. VI Российский энергетический форум, "ТрансТЭК-2006" [24 окт. 2006 г.]. Тезисы докладов. – Уфа.: ТрансТЭК. -2006. 159 с. – Библиогр.: с.130-133.

101. Малков, М.П. и др. Справочник по физико-техническим основам глубокого охлаждения. –М.–Л.: Госэнергоиздат, 1963– 416 с.

102. Малявина, Е. Г. Новый ГОСТ на параметры микроклимата жилых и общественных зданий [Электронный ресурс]// АВОК: –1999. –№ 5. – Электрон. версия печатной публ. – М.: НП АВОК, 2008. – Режим доступа к журн.: http://www.abok.ru/for_spec/artides.php?nid=104 (дата обращения: 02.03.06) свободный.

103. Малявина, Е. Г. Новый ГОСТ на параметры микроклимата жилых и общественных зданий [Электронный ресурс]// АВОК: –1999. –№ 5. – Электрон. версия печатной публ. – М.: НП АВОК, 2008. – Режим доступа к журн.: http://www.abok.ru/for_spec/artides.php?nid=104 (дата обращения: 02.03.06) свободный.

104. Малявина, Е.Г. Строительная теплофизика и микроклимат зданий / Малявина Е.Г., Самарин О.Д.— М.: МИСИ-МГСУ, 2018.— 288 с

105. Малявина, Е.Г., и др. Детали в разработке климатической информации специализированного «типового года»// Жилищное строительство, 2013, №6, с.36-38.

106. Маркус, Т.А., Моррис Э.Н. Здания, климат и энергия.: пер. с англ. Кобышевой Н.А, Малявиной Е.Г. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 542.

107. Матросов, Ю.А. Энергосбережение в зданиях. Проблема и пути её решения.– М., НИИСФ, 2008. 496 с.

108. Матросов, Ю.А.Энергосбережение в зданиях. Проблема и пути её решения / Ю. А. Матросов ; [НИИ строит. физики РААСН]. - Москва: НИИСФ, 2008. - 495 с.

109. Мачинский, В.Д. Метод характеристических величин в строительной теплотехнике. Изд. 2-е, испр. и доп. М.–Л.:Стройиздат.– 1950, с.88.

110. Мачинский, В.Д. Теория активной теплоёмкости жилых зданий. –М.: Изд-во Гл. упр. коммун-го хозяйства НКВД.–1925, с.51.

111. Мачинский, В.Д. Теплотехнические основы гражданского строительства. М.-Л., Гостройиздат, 1 журн. Тип. ОНТИ в Мск.–1932 [на папке:1933], с.312.

112. Мержвинский, Б.Д. Тепловая оценка зданий: Метод показательных эквивалентов.– М.: Гос. изд-во архитектуры и градостроительства, 1950. - 64 с.

113. Методические рекомендации по устройству термовкладышей из экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС® в монолитном домостроении.– СПб, 2015.– 32 с.

114. Минасян, А. А. Натурные испытания сборных железобетонных плит, подвергшихся циклическому замораживанию - оттаиванию / А. А. Минасян // Строительство и реконструкция. – 2018. – № 6(80). – С. 44-52.

115. Михеев, А.П. Проектирование зданий и застройки населенных мест с учетом климата и энергосбережения: Учеб.пособие для студентов вузов, обуч. по специальности "Пром. и гражд. стр-во" направления подгот. дипломир. специалистов "Стр-во" /

А.П. Михеев, А.М. Береговой, Л.Н. Петрянина. - [3-е изд., перераб. и доп.]. - М. : Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2002. - 159 с.

116. Михеев, Д. А., Повышение тепловой эффективности наружных стеновых ограждений на основе анализа тепловизионных исследований : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» / Михеев Денис Александрович; [Сиб. федер. ун-т]. - Красноярск, 2010. - 23 с.

117. Монолит стремится к теплу [Электронный ресурс]// Строительство и городское хозяйство в С.-Петербурге и Лен. Обл. – 2006. –№ 89. –Электрон. версия печатной публ. – Электрон. жур.; – СПб.: 1994 - 2008. – Режим доступа к журн.: http://www.stroygorhoz.ru/89/51.php (дата обращения: 14.03.08) свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

118. Мордич, А. И., Вигдорчик Р. И., Залесов А.С. Новая универсальная каркасная система многоэтажных зданий 2. Бетон и железобетон. 1999 №1 с.2-5.

119. Мордич, А.И., Белевич В.Н. Современные многоэтажные здания на основе сборно-монолитных каркасов – залог эффективности предприятий стройиндустрии// Международная конференция по производству бетона и сборных бетонных конструкций. – 18-20 мая, 2005 г./ ICCX St.-Petersburg 2005. – СПб , 2005. – с.127-130.

120. Московский территориальный строительный каталог [Электронный ресурс]: МТСК-12 Технические решения. Реестр новой техники// Строительный мир. Комплекс градостроительной политики строительства города Москвы: [сайт].–URL: . http://www.stroi.ru/ catalog/ru/410edcb5-4f7b-4a53-9bcc-172f8bdd181a/0/0/0/default.html (дата обращения: 05.03.10).

121. МР 23-345-2008 УР Методические рекомендации по проектированию тепловой защиты жилых и общественных зданий/ Министерство строительства, архитектуры и жилищной политики Удмуртской республики.–Ижевск, 2008.

122. Немова, Д. В. Сравнительная оценка ограждающих конструкций на протяжении жизненного цикла здания / Д. В. Немова, А. Ф. Гареева, Е. С. Осетрова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2019. – № 9(84). – С. 34-50. – DOI 10.18720/CUBS.84.3. – EDN XOQSRH.

123. Нечаев, В.П. Реакция криолитозоны территории России на изменения климата в XX веке // Пути эволюционной географии (итоги и перспективы). – М.: ИГ РАН, 2002. – С. 82–92.

124. Николаев, С.В. Панельные и каркасные здания нового поколения. Panel and Frame Buildings of a New Generations//Жилищное строительство. – М.: 2013.– № 8. –с.2-9.

125. Николаев, С.В. Социальное жильё на новом этапе совершенствования. Social Housing at a New Stage of Enhancement//Жилищное строительство. – М.: 2013.– № 3. –с.2-8.

126. О нормативных требованиях к тепловой защите зданий. Позиция Госстроя России в области энергосбережения зданий в современных условиях. [Электронный ресурс]// ЭСКО; Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы» № 3, 2002; гл. ред. Степаненко В. А. – Эл. жур. – Запорожье (Украина), 2002. – Режим доступа к жур.: http://esco-ecosys.narod.ru/2002_3/art14.htm/ (дата обращения: 23.01.06) свободный.

127. Орлович, Р. Б. Повреждение каменного лицевого слоя в зоне сопряжения с железобетонными перекрытиями / Р. Б. Орлович, В. Н. Деркач, С. С. Зимин // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – № 8(60). – С. 30-37. – DOI 10.5862/MCE.60.4.

128. Орлович, Р. Б. Сопряжение лицевого слоя слоистых каменных стен с плитами перекрытий / Р. Б. Орлович, В. Н. Деркач // Промышленное и гражданское строительство. – 2011. – № 11. – С. 62-65.

129. Орлович, Р. Б., Зимин, С. С., Начкина, П. А., Трусова, А. А.. Ремонт кирпичного лицевого слоя в современных каркасно-монолитных домах // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 8(23). – С. 136-153.

130. Оценочный доклад об изменении климата и последствиях на территории Российской Федерации. т.1. Изменение климата Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), М.:– 2008. http://www.voeikovmgo.ru/download/Tom%20I.pdf

131. Пат JP 4337985B2.. МПК E 04B1/0038 Herior wall structure of reinforced concrete herior heat insulation building and insulation support panel used/ 征吉 丹高光 櫻庭 .– No JP2006116775A заявл. 20.04.2006; опубл. 30.09.2009.

132. Пат. 102018112074 A1. DE. МПК E 04 B1/76. Bauelement zur wärmebrückenarmen Anbindung eines vorkragenden Außenteils an eine Gebäudehülle/ Antrag auf Nichtnennung; заявитель и патентообладатель Application filed by Schoeck Bauteile GmbH.– No 10 2018 112 074.5 заявл. 18.05.2018 ; опубл. 21.11.2019.

133. Пат. EP 1564336B1. МПК E 04B1/0038. Thermisch isolierendes Bauelement/ Klaus Fröhlich/ заявитель и патентообладатель Halfen GmbH and Co KG – No EP20040002982 заявл. 11.02.2004 ; опубл. 19.09.2007.

134. Пат. EP 3402932B1. МПК E 04B1/0038. Konstruktionselement zur verbindung thermisch isolierter teile eines gebäudes/ Pierre Michiels Olivier Remy/ заявитель и патентообладатель Plakabeton SA.– No DE102019116683.7A заявл. 01.12.2019 ; опубл. 25.09.2019.

135. Пат. EP 3754125A1. МПК E 04B1/0038. Bauelement zum einbau in trennfugen von gebäuden/ заявитель и патентообладатель Schoeck Bauteile GmbH.– No DE102019116683.7A заявл. 19.06.2019 ; опубл. 23.12.2020.

136. Патент 2118430 Российская Федерация, МПК[7] E04B1/18, E04H9/02. Каркас многоэтажного здания [Текст]/ Мордич А. И. (BY), Вигдорчик Р. И. (BY) и др.; заявитель и патентообладатель Белорусский научно-исследовательский институт по строительству (BY). - № 96111542/03; заявл. 05.06. 96; опубл. 27.08. 98.

137. Патент 2145993 Российская Федерация, МПК[7] E04B1/76, E04F13/08. Устройство для утепления наружной стены здания [Текст]/ Мордич А. И. (BY), Вигдорчик Р. И. (BY) и др.; заявитель и патентообладатель Научно-исслед. и эксперимент.-проектное гос. предпр. "Институт БелНИИС" Мин-ва архитектуры и стр-ва Республики Беларусь (BY). - № 98103784/03; заявл. 03.03.98; опубл. 27.02. 00.

138. Патент 2197578 Российская Федерация, МПК[7] E04B1/18. Конструктивная система многоэтажного здания и способ его возведения (варианты) [Текст]/ Мордич А. И. (BY), Вигдорчик Р. И. (BY) и др.; заявитель и патентообладатель Научно-исслед. и эксперимент.-проектное гос. предпр. "Институт БелНИИС" (BY). - № 2000133028/03; заявл. 28.12.00; опубл. 27.01. 03.

139. Патент 7270 Республики Беларусь, [7] E 04H 1/02. Многоэтажное здание [Текст]/ Мордич А. И. (BY), Вигдорчик Р. И. (BY) и др.; заявитель и патентообладатель Научно-

исслед. и эксперимент.-проектное республ. унитарное предпр. "Институт БелНИИС" (BY). - № a 20010711; заявл.15.08.01; опубл. 30.03. 03.

140. Патент на полезную модель № 113754 U1 Российская Федерация, МПК E04B 1/78. Устройство для утепления наружной стены здания : № 2011142662/03 : заявл. 21.10.2011 : опубл. 27.02.2012 / А. В. Кузнецов, Т. А. Белаш ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Петербургский государственный университет путей сообщения".

141. Патент на полезную модель № 114074 U1 Российская Федерация, МПК E04B 1/78. Устройство для утепления наружной стены здания : № 2011142535/03 : заявл. 20.10.2011 : опубл. 10.03.2012 / А. В. Кузнецов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Петербургский государственный университет путей сообщения".

142. Патент на полезную модель № 118988 U1 Российская Федерация, МПК E04B 2/00, E04B 1/76. Многослойная стена с регулируемыми теплозащитными свойствами : № 2012111774/03 : заявл. 27.03.2012 : опубл. 10.08.2012 / А. В. Кузнецов, В. Б. Мартиров ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Петербургский государственный университет путей сообщения".

143. Патент на полезную модель № 118988 U1 Российская Федерация, МПК E04B 2/00, E04B 1/76. Многослойная стена с регулируемыми теплозащитными свойствами : № 2012111774/03 : заявл. 27.03.2012 : опубл. 10.08.2012 / А. В. Кузнецов, В. Б. Мартиров ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Петербургский государственный университет путей сообщения".

144. Патент на полезную модель № 118989 U1 Российская Федерация, МПК E04B 2/00, E04B 1/76. Многослойная стена с регулируемыми теплозащитными свойствами : № 2012111776/03 : заявл. 27.03.2012 : опубл. 10.08.2012 / А. В. Кузнецов, В. Б. Мартиров ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Петербургский государственный университет путей сообщения".

145. Патент на полезную модель № 134961 U1 Российская Федерация, МПК E04B 1/78. Устройство для утепления наружной стены здания : № 2013133664/03 : заявл. 18.07.2013 : опубл. 27.11.2013 / А. В. Кузнецов, П. Е. Левин, Ю. А. Левина, О. В. Щербакова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Петербургский государственный университет путей сообщения".

146. Патент на полезную модель № 199000 U1 Российская Федерация, МПК E04B 1/78. Устройство для повышения теплозащитных качеств наружной стены здания : № 2020111631 : заявл. 19.03.2020 : опубл. 06.08.2020 / А. В. Кузнецов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I".

147. Патент на полезную модель № 199001 U1 Российская Федерация, МПК E04B 1/78. Устройство для утепления наружной стены здания : № 2020111623 : заявл. 19.03.2020 : опубл. 06.08.2020 / А. В. Кузнецов, М. В. Калушин, А. М. Демин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I".

148. Патент на полезную модель № 199431 U1 Российская Федерация, МПК E04B 1/76. Устройство для повышения теплозащитных качеств наружной стены здания : № 2020111632 : заявл. 19.03.2020 : опубл. 01.09.2020 / А. В. Кузнецов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I".

149. Пермяков, Б. А., Пермяков, А. Б. и др., «Энергосбережение в строительстве: ситуация, проблемы, рекомендации, перспективы. (учебное пособие). – Ухта.: 2002.– 71 с.

150. Письмо Госстроя России №9-14/932 от 23.12.2002 г.

151. Погода в России и мире, прогноз погоды от Метеоцентра http://meteocenter.net/forecast/all.php (дата обращения: 28.02.2006).

152. Покровская, Т.В, Бычкова, А.Т. Климат Ленинграда и его окрестностей; Л.:Гидрометеоиздат, 1967 г., -199 с.

153. Полонский, В.Н., Трутнева, М.С. Энергосбережение: учебное пособие.- М.: АСВ, 2005. – 160 с.

154. Пособие к МР 23-345-2008 УР Эталоны энергопаспорта и раздела "Энергоэффективность" для зданий жилых, общественных и смешанного типа/ Министерство строительства, архитектуры и жилищной политики Удмуртской республики.–Ижевск, 2008.

155. Пособие по проектированию жилых зданий [электронный ресурс] : Вып. 3: ч. 2. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). – Электрон. версия печатной публ. – Электрон. дан. и прогр.– М.: СтройКонсультант, [2005]. – жесткий диск. Сист. требования: Pentium 100 МГц; Microsoft Windows XP (русифицир.); 1 Gb; CD-ROM; Microsoft Word 2000; Microsoft Bernet Exploer 6.0+

156. Пособие по проектированию жилых зданий [электронный ресурс]: Вып. 3: ч. 1. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). – Электрон. версия печатной публ. – Электрон. дан. и прогр.– М.: СтройКонсультант, [2005]. – жесткий диск. Сист. требования: Pentium 100 МГц; Microsoft Windows XP (русифицир.); 1 Gb; CD-ROM; Microsoft Word 2000; Microsoft Bernet Exploer 6.0+

157. Рекомендации по расчету и проектированию ограждающих конструкций с применением монолитного теплоизоляционного полистиролбетона с высокопоризованной и пластифицированной матрицей. – Электрон. версия печатной публ. – Электрон. дан. и прогр.– М.: Гарант, [2005]. – жесткий диск. Сист. требования: Pentium 100 МГц; Microsoft Windows XP (русифицир.); 1 Gb; CD-ROM; Microsoft Word 2000; Microsoft Bernet Exploer 6.0+.

158. Рекомендации по расчету конструкций крупнопанельных зданий на температурно-влажностные воздействия/ ЦНИИСК им.В.А. Кучеренко.–М.: Стройиздат, 1983.–136 с.

159. Ржеганек, Я., Яноуш, А. Снижение теплопотерь в зданиях. Под ред к.т.н. Л.М. Махова. – М.: Стройиздат, 1988. – 168 с.

160. РМД 23-16-2012. Рекомендации по обеспечению энергетической эффективности жилых и общественных зданий.– СПб.: Правительство Санкт-Петербурга, 2013.– 457 с.

161. РМД 51-25-2018 Санкт-Петербург Рекомендации по проектированию, монтажу и эксплуатации фасадных систем для нового строительства, реконструкции и ремонта жилых и общественных зданий в Санкт-Петербурге. Часть II. Рекомендации по эксплуатации и ремонту фасадных систем для нового строительства и реконструкции жилых и общественных зданий в Санкт-Петербурге. СПб.: 2018. URL: https://docinfo.ru/rmd/rmd-51-25-2018-sankt-peterburg/ , (дата обращения: 12.02.2022).

162. РМД 52-01-2006. Проектирование и возведение ограждающих конструкций жилых и общественных зданий с применением ячеистых бетонов в Санкт-Петербурге. Региональный методический документ. – Электрон. версия печатной публ. – Электрон. дан. и прогр.– М.: Гарант, [2005]. – жесткий диск. Сист. требования: Pentium 100 МГц; Microsoft Windows XP (русифицир.); 1 Gb; CD-ROM; Microsoft Word 2000; Microsoft Bernet Exploer 6.0+.

163. Руководство по основным методам проведения анализа в программе ANSYS.URL: https://docs.google.com/viewer?url=http%3A%2F%2Fcit.bsau.ru%2Fnetcat_files%2FFile%2FCIT%2Fmanuals%2FANSYS.pdf/ (дата обращения: 18.01.2022).

164. Руководство по теплотехническому расчёту и проектированию ограждающих конструкций зданий/ НИИСФ. –М.: Стройиздат, 1985.–141 с.

165. Савин, В.К. Строительная физика: энергоперенос, энергоэффективность, энергосбережение.М.: Лазурь, 2005. – 425 с.

166. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". – М.:2021.URL:http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102030022?index=17&rangeSize=1, (дата обращения: 18.01.2022).

167. СанПин 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Информац.-издат. центр Минздрава России. 2001. – 20 с.

168. Свид-во на полез. модель 24481, МПК[7] Е 04 В2/02. Ограждающая конструкция многоэтажного строения [Текст]/ Васильев В.Д, Шарбабчев Г.С., Шварц М.А. (РФ); заявитель Васильев В.Д, и др.; патентообладатель Васильев В.Д. и др. -№ 2001125566/20;

заявл. 20.09.2001; опубл. 10.12.2006, БИ № 34/2006// Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам:[сайт]. – М., [2006]. URL: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet, (дата обращения: 18.01.2011).

169. Свид-во на полез. модель 24482, МПК[7] Е 04 В2/02. Ограждающая конструкция многоэтажного строения [Текст]/ Васильев В.Д, Шарбабчев Г.С., Шварц М.А. (РФ); заявитель Васильев В.Д, и др.; патентообладатель Васильев В.Д. и др. -№ 2001124991/20; заявл. 12.09.2001; опубл. 10.12.2006, БИ № 34/2006// Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам: [сайт]. – М., [2006]. URL: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet, (дата обращения: 18.01.2011).

170. Селивёрстов, Г.А. К вопросу тепловой инерции зданий. Критический разбор существующих методов расчёта.–М.-Л.: Госстройиздат, 1938, 59 с.

171. Селивёрстов, Г.А. Теплоустойчивость зданий. (Метод определения и расчёта).– М.-Л. Госстройиздат., 1934, 52 с.

172. Семенов, С.М., Ясюкевич, В.В., Гельвер, Е.С. Выявление климатогенных изменений. – М.: Метеорология и гидрология, 2006. – 324 с.

173. Серебровский, А. П. Промышленный холод и его применение при сохранении пищевых продуктов. Руководство для инженеров, студентов и владельцев холодильных установок.–М.: изд. Авт., 1911, с.156.

174. Серебровский, А. П. Теория и практика термо-изоляции. Руководство при проектировании и постройке холодных складов, вагонов-ледников, судов-холодильников и фабрично-заводских тепловых установок. Сост. инж. А.П. Серебровский. –М.: кн. маг. «Правоведение» И.К. Голубева, 1914. с.352.

175. Серк, Л.А. Ограждающие элементы зданий. Выбор термического сопротивления и конструктивные решения.– М.: фото-лит. Промстройпроекта, 1936, с.129.

176. Серк, Л.А. Промерзание колонн в стенах каркасной конструкции/ Серк Л.А.// Проект и стандарт.–1937.–№2. с.

177. СНиП 23-01-99*. Строительная климатология. –М.:-Минстрой России, 1999.–74 с.

178. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий.– М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 35 с.

179. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. М.: ГУП ЦПП, 2004. – 71 с.

180. СНиП II-3 –79**. Строительная теплотехника. –М.: Госстрой СССР, 1986.- 35 с.

181. СНиП II-3 –79*. Строительная теплотехника. Госстрой России –М.: ГУП ЦПП, 2001.- 35 с.

182. Соколов, В. А. Вероятностный анализ технического состояния и надежности строительных конструкций зданий старой городской застройки / В. А. Соколов, С. Г. Шульман. – Санкт-Петербург : Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2016. – 408 с. – ISBN 978-5-7422-5502-4.

183. СП 131.13330.2020. СТРОИТЕЛЬНАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ СНиП 23-01-99*. Минстрой.–М.:Стандартинформ,2021. URL:https://yandex.ru/search/?tн=https% 3A%2F %2Fwww.minstroyrf.gov.ru%2Fupload%2Fiblock%2F82b%2FSP131.pdf&lr=2&clid=2270455 &win=472&suggest_reqid=673368081624191408622336314013 29 (дата обращения: 02.02.2022).

184. СП 15.13330.2020 Каменные и армокаменные конструкции СНиП II-2281*– Москва: Минстрой России. М.: Стандартинформ, 2021. Режим доступа: https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/117291/ (дата обращения: 09.01.2022).

185. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями N 1, 2, 3) – Москва: Минстрой России. М.: Стандартинформ, 2016. Режимдоступа: https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/?date_from=&t%5B%5D =&d%5B%5D=&q=сп+20&active%5B%5D=65 (дата обращения: 09.01.2022).

186. СП 230.1325800.2015. Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей.– М.: Минстрой России, –2015.– Режим доступа: https://docs.google.com/viewer?url=https%3A%2F%2Fminstroyrf.gov.ru%2 Fupload%2Fiblock%2Fae0%2F260.1325800.2015.pdf (дата обращения: 10.03.16) .

187. СП 230.1325800.2015. Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей (с Изменением №1).– М.: Минстрой России, –2018.–170 с.

188. СП 255.1325800.2016. Здания и сооружения : правила эксплуатации : основные положения = Buildings and structures. Operating rules. General provisions : СП 255.1325800.2016 / исполнители - "АСД-групп", Центральным научно-исследовательским и проектно-экспериментальным институтом промышленных зданий и сооружений (ОАО "ЦНИИПромзданий"). - Изд. офиц.. - Москва: Стандартинформ, 2017. - IV, 26 с. . ; 29 . - (Свод правил / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации).

189. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. - М.: ФГУП ЦПП, 2004. –247 с.

190. СП 327.1325800.2017 Стены наружные с лицевым кирпичным слоем. Правила проектирования, эксплуатации и ремонта (с Изменением N 1). [Электронный ресурс]. Минстрой России. М.: Стандартинформ, 2019 – Режим доступа: https://docs.google.com/viewer?url=https%3A%2F%2Fwww.minstroyrf.gov.ru%2Fupload%2Fiblock%2Ffe9%2FSP-327-Steny-naruzhnye.pdf (дата обращения: 02.01.22) свободный.

191. СП 333.1325800.2020 Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. [Электронный ресурс]. Минстрой России. М.: Стандартинформ, 2021 – Режим доступа: https://docs.google.com/viewer?url=https%3A%2F%2Fwww.minstroyrf.gov.ru%2Fupload%2Fiblock%2Ff5f%2FSP-333.pdf (дата обращения: 08.07.22) свободный.

192. СП 430.1325800.2018 Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования. [Электронный ресурс]. Минстрой России. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/554820823 (дата обращения: 02.01.22) свободный.

193. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. –М.: Мин-во регион-го развития РФ, 2012.

194. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 ,– М., 2012.

195. СП 60.13330.2020 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха СНиП 41-01-2003 (с Поправкой). [Электронный ресурс]. Минстрой России. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2021 – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200095527 (дата обращения: 02.01.22) свободный.

196. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003 (с Изменением N 1). М.: Стандартинформ, 2019 – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/554403082 (дата обращения: 02.01.22).

197. СТО 17532043-001-2005. Нормы теплотехнического проектирования ограждающих конструкций и оценки энергоэффективности зданий.

198. СТО 36554501-013-2008 Методы расчета лицевого слоя из кирпичной кладки наружных облегченных стен с учетом температурно-влажностных воздействий. – М.: ФГУП "НИЦ "Строительство", 2008. 13 с.

199. Строительная климатология. СНиП 23-01-99*, –М.: 2006. с.70.

200. Строительная климатология. Справочное пособие к СНиП 23-01-99*// Под ред. чл. кор. РААСН В.К. Савина. – М.:НИИСФ РААСН, 2006, – с.258.

201. Табунщиков, Ю. А., Хромец, Д. Ю., Матросов, Ю. А. Тепловая защита ограждающих конструкций зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1986. – 380 с.

202. Термовкладыши ПЕНОПЛЭКС-инновационный продукт для применения в монолитном домостроении// Жилищное строительство. 2017. No 8. URL: itm7454.pdf (rifsm.ru). Дата обращения (05.10.2021).

203. Типовые строительные конструктивные изделия и узлы по серии Б1.020.1-7.

204. Тишнер-Егорова, Т.-Э.А. Совершенствование методов расчёта теплозащитных свойств узла сопряжения плиты перекрытия со стеной: дис. …канд. тех. наук: 05.23.01/ Тишнер-Егорова Татьяна-Эмилия Августовна. – М.:2016, – 179 с.

205. ТСН 23-303-2001 (ТСН 23-343-2002). Теплозащита и энергопотребление жилых и общественных зданий. Республика Саха (Якутия). Введён 01.10.2002.- Якутск: Минстрой Республики Саха (Якутия), 2002.- 55 с.

206. ТСН 23-304-99 (МГСН 2.01-99). Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению г. Москва.- Взамен МГСН 2.01-97 и дополнений к ним №1, №2, №3; Введён 23.02.1999 г.- М.:-ГУП «НИАЦ», 1999. – 49 с.

207. ТСН 23-340-2003. Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий. Нормативы по энергопотреблению теплозащите. г. Санкт-Петербург; Введён 01.07.2003. – С.-Петербург: Администрация Санкт-Петербурга, 2003.- 45 с.

208. Умнякова, Н. П., Егорова, Т. С., Андрейцева, К. С. [и др.]. Новое конструктивное решение сопряжения наружных стенс монолитными междуэтажными перекрытиями и балконными плитами// Строительные материалы. – 2013. – № 6. – С. 28-31.

209. Умнякова, Н.П. Новое конструктивное решение сопряжения наружных стен с монолитными междуэтажными перекрытиями и балконными плитами/ Н.П. Умнякова, Т.С. Егорова, К.С. Андрейцева, В.А. Смирнов, В.А. Лобанов// Строительные материалы. - 2013.– №6. – 28-31 с.

210. Умнякова, Н.П., Андрейцева, К.С., Смирнов, В.А. Влияние конструкций узлов на распределение коэффициентов теплообмена на поверхности железобетонной балконной плиты. //Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2016. No 2 (14). С.60 – 71.

211. Умнякова, Н.П., Андрейцева, К.С., Смирнов, В.А. Теплообмен на поверхности выступающих элементов наружных ограждений. // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2016. No 4 (364). С.157 – 160.

212. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]/ Ввод общей площади жилых домов по материалам стен в Российской Федерации/Главная страница/ Статистика/ Официальная статистика/ Предпринимательство/Строительство. М.: Росстат. URL: Росстат — Поиск (rosstat.gov.ru), (дата обращения: 06.01.2022) свободный. - Загл. с экрана.

213. Федеральный закон Российской Федерации "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации": [Федерал. закон Рос. Фед. от 27 ноября. 2009 г. N 261-ФЗ: Принят Гос. Думой 11 ноября 2009 г.: Одобрен Сов. Фед.18 ноября 2009 г.]. – М.: [Электрон. ресурс].- URL: http://www.rg.ru/2009/11/27/energo-dok.html (дата обращения: 10.01.2009). Свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

214. Федеральный закон Российской Федерации "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений"(с изменениями на 6 июля 2022 года).: [Федерал. закон Рос. Фед. от 30 дек. 2009 г. N 384-ФЗ: Принят Государственной Думой 23 дек. 2009 г.: Одобрен Советом Федерации 25 дек. 2009 г.]. –М.: [Электрон. ресурс].- URL: http://www.rg.ru/2009/12/31/tehreg-zdaniya-dok.html (дата обращения: 10.08.2022). Свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

215. Флюгге, Р. Теплые жилые постройки. Руководство к проведению теплотехнических начал в жилищном строительстве. Для инженеров-строителей, архитекторов, техников, подрядчиков и застройщиков. Пер. с нем. под ред. проф. В.Д. Мачинского. –М.: Макиз, 1928, с.101.

216. Фокин, К.Ф. Влияние элементов железобетонных каркасов на температуру внутренней поверхности стен// Вопросы строительной физики в проектировании. Сб. статей под ред. д-ра тех.наук О.Е. Власова.– М.-Л. Госстроийиздат, 1939, с. 5-23.

217. Фокин, К.Ф. Методология зимних наблюдений для оценки теплотехнического и санитарно-гигиенического режима жилых помещений. Под ред. О.А. Вутке// НТУ ВСНХ СССР. Гос. Науч-эксп. Ин-т гражд., пром. И инж. Сооружений. Сообщение 5. Жилстроит. сектор. Вып. 2.– М.: Гос. Техн. Изд., тип. РИО ВЦСПС. 1929, с. 27.

218. Фокин, К.Ф. Некоторые результаты зимних наблюдений в опытных домах посёлка «Сокол» в зиму 1928-1929 года// Всесоюз. науч.-эксп. ин-т гражд., пром. и инж. сооруж. Сообщ.№39. Физ.-тех. сектор. Вып.2. Янв. 1932. – М.-Л.: Госстройиздат, тип. «Образцовая» в Мск., 1932, с.61.

219. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей здания/ Под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина.– 5-е изд., пересмотр.–М.:АВОК-ПРЕСС, 2006.– 256 с.

220. Чаплин, В.М. Курс отопления и вентиляции. Вып. 1. – М.: Гос. изд., 1924, с.373.

221. Черных, А.С. Совершенствование конструкции и технологии производства стеновых панелей с деревянным каркасом : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.21.05. –Архангельск, 2015. - 19 с.

222. Шафир, А.И. Важнейшие итоги и перспективы исследований по гигиеническому обоснованию жилищно -строительных нормативов// К проблеме гигиенического нормирования жилищного строительства/ Материалы экспериментальных исследований. – Л.: Институт радиационной гигиены, 1958. – с. 7-20.

223. Шембаков, В. А. Сборно-монолитное каркасное домостроение. Руководство к принятию решения. Чебоксары.: 2005.– с.119.

224. Шембаков, В.А. Технология сборно-монолитного домостроения СМК в массовом строительстве России и стран СНГ. Technology of Precast and Cast-in-Situ Housing Construction SMK in Mass Construction of Russia and Country-Members of Commonwealth of Independent States (CIS)//Жилищное строительство. – М.: 2013.– № 3. –с.26-29.

225. Шерстюков, А.Б.. Изменение климата и последствия в зоне многолетней мерзлоты России.– Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2009, –с.127. URL: http://www.meteo.ru/publish_tr/monogr1.pdf. – (10.02.2016).

226. Шерстюков, А.Б.. Изменения климата и последствия в зоне вечной мерзлоты России.– Обниск.: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД, 2009.–с.127. http://www.meteo.ru/publish_tr/monogr1.pdf

227. Шилкин, Н.В. Как экономить энергию жителям многоэтажных домов// Журнал Энергосбережение № 4. –М., 2012/ [сайт]– URL: http://www.abok.ru/ for_spec /articles.php?nid=5259 (дата обращения: 15.03.16). Свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

228. Экология, охрана природы, экологическая безопасность: учебное пособие под общ. ред. А. Т. Никитина, С. А. Степанова. – М.: МНЭПУ, 2000. – 648 с.

229. Шумилов, М.С. Гражданские здания и их техническая эксплуатация: учебник для студентов вузов по спец. «Экономика и орг. гор. хоз-ва».–М.: Высш. Шк., 1985.-375 с.

230. Юдина, А.Ф., Достоинства монолитного строительства и некоторые проблемы его совершенствования// Вестник гражданских инженеров.– СПб.: СПбГАСУ.–2012, №1. с.154-156.

231. Юдина, А.Ф., Дьячкова, О.Н. Анализ вариантов проектно-строительных решений жилых многоэтажных зданий (на примере Санкт-Петербурга)// Вестник гражданских инженеров.– СПб.: СПбГАСУ.–2010, №2. с.115-122.

232. Ярмаковский, В. Н. Физико-химические основы стойкости бетонов к воздействию низких отрицательных температур / В. Н. Ярмаковский, Д. З. Кадиев // Строительство и реконструкция. – 2020. – № 4(90). – С. 122-136. – DOI 10.33979/2073-7416-2020-90-4-122-136.

233. Ярмаковский, В. Н. Физико-химические основы стойкости бетонов к воздействию низких отрицательных температур (часть 2) / В. Н. Ярмаковский, Д. З. Кадиев // Строительство и реконструкция. – 2020. – № 5(91). – С. 133-144. – DOI 10.33979/2073-7416-2020-91-5-133-144.

234. Яров, В.А., Коянкин, А.А., Скрипальщиков, К.В. Экспериментальные исследования участка монолитного перекрытия многоэтажного здания. Вестник МГСУ. 2009. 4(3). с. 150-153.

235. Яшин, А. В., Яшин, А. А. и др. Патент № 2603106 C1 Российская Федерация, МПК E04B 5/17. Перекрытие здания, сооружения : № 2015130254/03 : заявл. 21.07.2015 : опубл. 20.11.2016 / А. В. Яшин, А. А. Яшин, В. П. Ярцев, А. В. Ерофеев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тамбовский государственный технический университет" (ФГБОУ ВО "ТГТУ").

236. Cube, H. L. von. H. 13. Die Auskühlung von Häusern und deren Berücksichtigung in Vorschriften über den Wärmeschutz von Aussenwänden / H. L. von Cube//Institut für Technische Physik. Stuttgart, Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der Angewandten Forschung: Veröffentlichungen aus dem Institut für Technische Physik, Stuttgart. - Stuttgart-[Degerloch] : Institut f. Techn. Physik, 1949, 36 с.

237. Egcobox – the individual cantilever connection system [electron resource]//MaxFrank & Co. KG – technologies for the construction industry. – Leiblfing.– Режим доступа к журн.: http://www.maxfrank.com/Produkte/?changelang=3&reloadurl=gemacht& pos= (дата обращения: 27.04.07) свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.

238. Eichelberg G., Gröber H., Jakob M. Wärmedurchgang bei einfachen Körpern und Maschinen : Vorträge auf d. 2. Tagung d. Ausschusses f. Wärmeforschung im Verein deutscher Ingenieure / Von G. Eichelberg, H. Gröber, M. Jakob [u. a.].– Berlin : VDI-Verlag, 1928, с.71.

239. EN 15217 : Energy performance of buildings – Method for expressing energy performance and for energy certification of building. – CEN, 2007.

240. EN 15603 : Energy performance of buildings – Overall energy use and definition of energy ratings/– CEN, 2008.

241. Gröber, H., Erk, S. Die Grundgesetze der Wärmeübertragung. Zugl. 2., völlig neubearb. Aufl.– Berlin: J. Springer, 1933, с.259.

242. Hencky, K. Die Wärmeverluste durch ebene Wände unter besonderer Berücksichtigung des Bauwesens / Von Karl Hencky.– München, Berlin : Oldenbourg, 1921, с. 124.

243. Hencky, K., Cammerer, J. S. Forschungsergebnisse über den Wärmeschutz und dessen praktische Bedeutung für die Industrie / Karl Hencky ; J. S. Cammerer. – München Bayerstrasse 3 : Selbstverlag d. Forschungsheims f. Wärmeschutz, 1921, с.36.

244. Hencky, K.; Cammerer, J. S. Forschungsergebnisse über Wärmeschutz und dessen praktische Bedeutung für die Industrie / Karl Hencky ; J. S. Cammerer.– München : Selbstverl. d. Forschungsheimes f. Wärmeschutz e. V., 1927, 47 с.

245. Müller, M, Li Z., Standeker, J. Schöck Isokorb® – Gebrauchstauglichkeit unter Berücksichtigung der Langzeiteigenschaften// Beton- und Stahlbetonbau. Том 115, Выпуск S1, 1 October 2020. DOI 10.1002/best.202000063. С. 35 – 43.

246. Staf Roels. Berlaboratory Comparasion of Hygric Properties of Porous Building Materials / Staf Roels, Jan Carmeliet, Hugo Hens etc. // Journal of thermal envelope & building science. – London. – 2004. – vol. 27, № 4. – april. – p. 307-325. – ISSN 1097-19631.

247. Study on the Energy Savings Potentials in EU Member States, Candidate Countries and EEA Countries Final Report. [Электронный ресурс]: for the European Commission Directorate-General Energy and Transport// EC Service Contract Number TREN/D1/239-2006/S07.66640. URL: http://ec.europa.eu/energy/efficiency/studies/doc/2009_03_15_esd_efficiency_potentials_final_report.pdf (дата обращения: 01.10.2013).

248. Singh Ramvir. Predictions of Effective Thermal Conductivity of Complex Materials // Heat Transfer if Multi-Phase Materials/edited by A.Öchsner, G/E/ Murch/ Dordrecht, London, New York: Springler Heidelberg, 2011. P.235-273.

249. Basiricò Tiziana , Cottone Antonio , Enea Daniele . Analytical Mathematical Modeling of the Thermal Bridge between Reinforced Concrete Wall and Ber-Floor Slab Received. Sustainability. Том 12, Выпуск 23, Номер статьи 9964. December 2020. С. 1 – 211. URL: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/23/9964/htm (дата обращения: 08.01.2022).

250. Kuznetsov, A. V. Temperature stresses in the perforated overlap disc / A. V. Kuznetsov, S. S. Zimin // Construction of Unique Buildings and Structures. – 2022. – No 3(101). – P. 10103. – DOI 10.4123/CUBS.101.3.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Письма, справки о внедрении, акты

ПРАВИТЕЛЬСТВО САНКТ-ПЕТЕРБУРГА
КОМИТЕТ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ

Мойки р. наб., д.76, Санкт-Петербург, 190000
Тел.: (812) 576-30-60, Факс: (812) 576-31-00
E-mail: ks@kstr.gov.spb.ru
http://www.gov.spb.ru

Комитет по строительству
№ ОБ-312-285/21-3-1
от 24.05.2021

Кузнецову А.В.

@ .

ул. , д. , кв. ,
Санкт-Петербург, 191

_____
_ от _____

Уважаемый Анатолий Всеволодович!

Комитет по строительству, рассмотрев Ваше обращение от 21.05.2021 № 581261, подтверждает, что научная статья Кузнецова Анатолия Всеволодовича «Утепление узлов сопряжения стен с диском перекрытия в монолитных домах», опубликованная в журнале «Жилищное строительство» № 8 за 2013 год использована при разработке пункта 13.16 раздела 13 «Мероприятия по улучшению тепловлажностного состояния многослойных каменных стен» регионального методического документа по строительству в Санкт-Петербурге РМД 51-25-2018 «Рекомендации по проектированию, монтажу и эксплуатации фасадных систем для нового строительства, реконструкции и ремонта жилых и общественных зданий в Санкт-Петербурге». Часть II. Рекомендации по эксплуатации и ремонту фасадных систем для нового строительства и реконструкции жилых и общественных зданий в Санкт-Петербурге», введенного в действие распоряжением Комитета от 10.04.2018 № 57-р, о чем свидетельствует пункт 8 раздела «Библиография» указанного регионального методического документа.

Первый заместитель председателя Комитета **Д.М.Михайлов**

Алексеева А.А.,

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)
Московский пр., д.9, Санкт-Петербург, 190031
Телефон: (812) 457-86-28, факс: (812) 315-26-21
E-mail: dou@pgups.ru
http://www.pgups.ru

27.05.2022 № 005.02-46/16.1

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
«Промышленного и гражданского строительства»
д.т.н., проф. М.С. Абу-Хасан
27 мая 2022 г.

АКТ
использования в учебном процессе материалов кандидатской диссертации
«УЗЛЫ СОПРЯЖЕНИЯ ДИСКА ПЕРЕКРЫТИЯ С ОГРАЖДАЮЩИМИ СТЕНОВЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ В МОНОЛИТНОМ ДОМОСТРОЕНИИ»
старшего преподавателя кафедры
«Строительные конструкции, здания и сооружения»
Кузнецова Анатолия Всеволодовича

Материалы кандидатской диссертации старшего преподавателя кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения» А.В. Кузнецова используются в лекционном курсе и лабораторном практикуме по дисциплине «Строительная физика» при подготовке специалистов по направлениям: 08.03.01 «Промышленное и гражданское строительство» и 08.05.01 «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений».

И.о. заведующего кафедрой
«Строительные конструкции,
здания и сооружения», к.т.н., доц. Г.А. Богданова

IN FAVOUR
OF FUTURE GENERATIONS
ROSECO

ООО «РОСЭКО-СТРОЙПРОЕКТ»

ИНН 7804464365 КПП 781601001 ОГРН1117847263467
192102, г. Санкт-Петербург, ул. Фучика, д.4, лит. К
тел./факс 336-42-82 info@roseco.net

19.09.2022 № 615

На № _____ от _____

АКТ
о внедрении результатов диссертационной работы
Кузнецова Анатолия Всеволодовича на тему:
«УЗЛЫ СОПРЯЖЕНИЯ ДИСКА ПЕРЕКРЫТИЯ С ОГРАЖДАЮЩИМИ СТЕНОВЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ В МОНОЛИТНОМ ДОМОСТРОЕНИИ»

Результаты диссертационного исследования Кузнецова Анатолия Всеволодовича были использованы в проектной деятельности ООО «РОСЭКО-СТРОЙПРОЕКТ», в частности, при определении удельных теплопотерь неоднородных ограждающих конструкций, нашедших отражение при выполнении раздела проектной документации «Мероприятия по обеспечению соблюдения требований энергетической эффективности и требований оснащенности зданий, строений и сооружений приборами учета используемых энергетических ресурсов» для объекта: «Многофункциональный жилой комплекс с подземной автостоянкой и многофункциональный медицинский центр по адресу: г. Москва, Мичуринский проспект, вл. 56. 2-ой этап. Многофункциональный медицинский центр» по заказу Общества с Ограниченной Ответственностью «Семрен и Монссон МОС». Шифр объекта: MICH–2–00-ЭЭ. Том 11.1.

Генеральный директор А.А. Папыгин

РОСЖЕЛДОР ПРОЕКТ
ЛЕНГИПРОТРАНСПУТЬ

ФИЛИАЛ АО «РОСЖЕЛДОРПРОЕКТ»

Санкт-Петербургский институт по проектированию инженерных сооружений и промышленных предприятий путевого хозяйства и геологическим изысканиям
«ЛЕНГИПРОТРАНСПУТЬ»
Набережная р. Фонтанки, д. 117, офис 438,
Санкт-Петербург, Россия, 190031
тел: (812) 457-81-07
факс: (812) 310-54-39
e: lgtp@rzdp.ru
w: www.rzdp.ru/lengtp

28 ОКТ 2022 № 05Исх- 04642

На № _____ от _____

О внедрении результатов диссертационной работы

Справка о внедрении результатов диссертационной работы

Кузнецова Анатолия Всеволодовича

на тему: «Узлы сопряжения диска перекрытия с ограждающими стеновыми конструкциями в монолитном домостроении»

Настоящим письмом институт "Ленгипротранспуть" - филиал АО "Росжелдорпроект" подтверждает, что результаты диссертационной работы Кузнецова Анатолия Всеволодовича были использованы при разработке проектной документации для объектов железнодорожного транспорта.

И.о. директора филиала Н.В. Иванов

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Результаты численного моделирования предлагаемых конструктивных решений

Б.1 Расчёт удельных потерь теплоты, предлагаемых конструктивных решений

Б.1.1 Тип-1. Вариант 1[а]

Для типа-1 был исследован вариант 1[а]. Как было отмечено ранее, конструктивное решение, выполненное по типу-1, является наиболее уязвимым в теплотехническом отношении и наиболее уязвимо к промерзанию. В исследуемом фрагменте материалом трапецеидального каркаса послужил стальной лист, толщиной 0,7 мм с теплопроводностью 58 Вт/(м·°С). В образованном пространстве между торцом диска перекрытия и трапецеидальным каркасом предусмотрен слой негорючего теплоизоляционного материала с толщиной 0,15 м и теплопроводностью 0,045 Вт/(м·°С). Граничные условия и описание конструктивного решения здесь аналогичны тем, что были рассмотрены в главах 3, 5. На рисунке Б.1 представлены температурные поля фрагмента ограждающей конструкции. В расчёте трёхмерного температурного поля во внимание также принимались значения наружных отрицательных температур в диапазоне от 0 °С до минус 50 °С. Результаты распределения температурных полей показаны на рисунке Б.2.

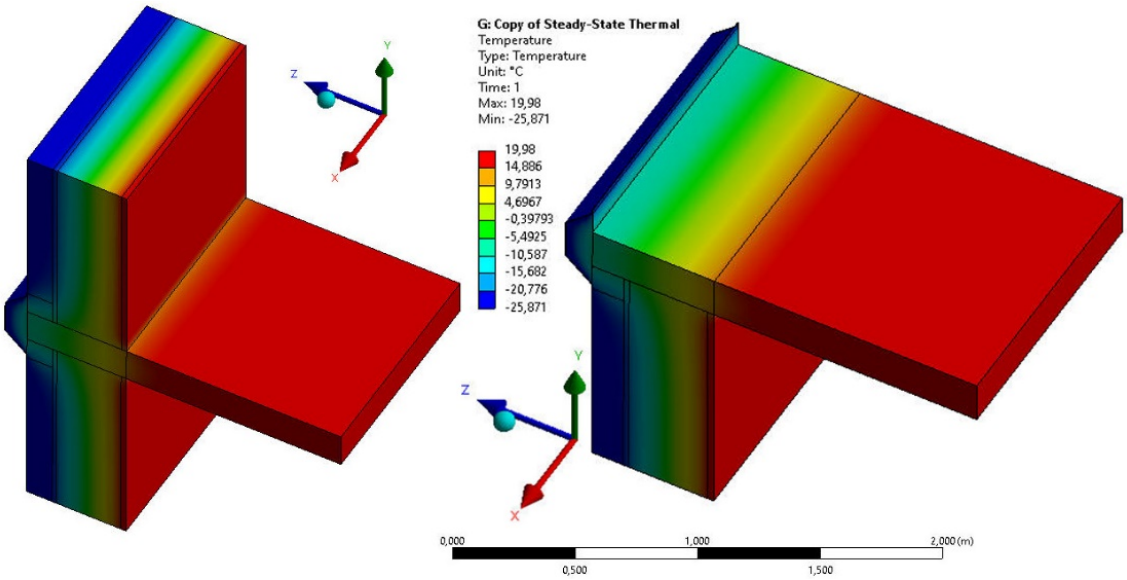


Рисунок Б.1 –Температурные поля узла сопряжения диска перекрытия со стеной. Тип-1.Вариант 1[а]

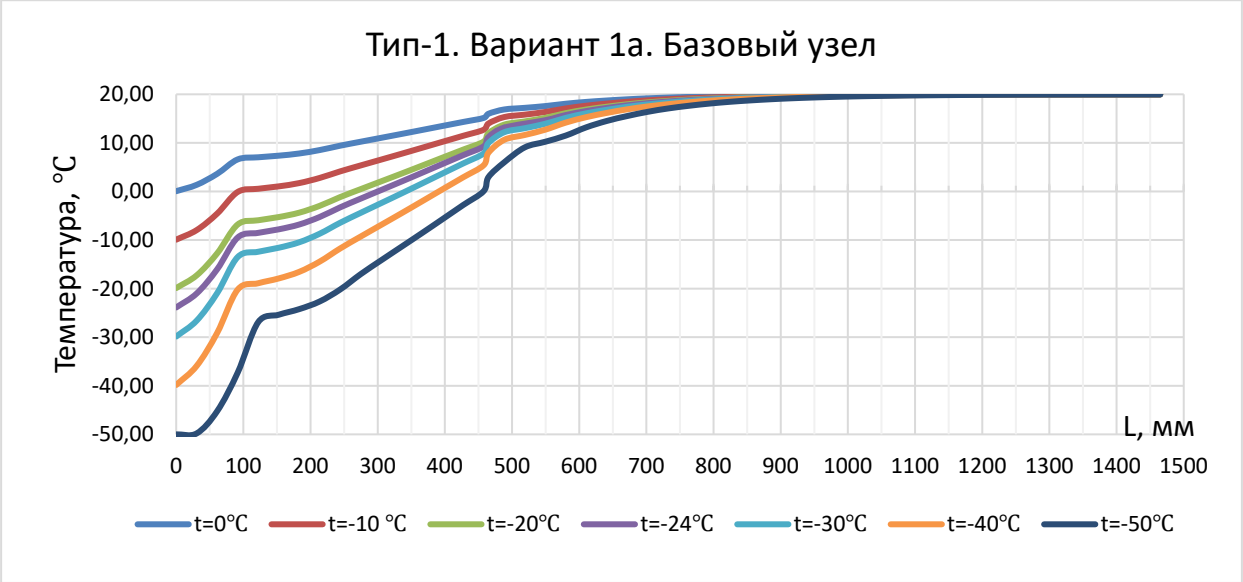


Рисунок Б.2 –Распределение температурных полей по длине диска перекрытия. Тип-1. Вариант 1[а]

Проводимое исследование показало, что применение предлагаемого устройства (Вариант 1[а]) позволяет достичь нормируемых значений на поверхности перекрытия на расстояниях, лежащих в диапазоне от 49,87 мм до 242,9 мм от внутренней грани стены. Результаты сравнительного анализа между конструктивными решениями до[25] и после модернизации[26], представлены в таблице Б.1

Таблица Б.1– Сравнительный анализ достижения нормативной температуры по внутренней поверхности диска перекрытия. Тип-1

Поперечное сечение по центральной оси плиты		Температуры наружного воздуха, °С						
		0	-10	-20	-24	-30	-40	-50
Тип-1	Расстояние, мм	117,61	181,753	226,070	240,520	261,335	289,650	313,280
Тип-1. Вариант 1[а]		49,87	112,444	156,225	177,244	190,497	218,934	242,907
Разность, %		57,6	38,1	30,9	26,3	27,1	24,4	22,5

При этом, температура на внутренней поверхности стыка, образованного внутренними гранями стены и перекрытия, составила 12,96 °С. В случае применения отражательной изоляции со стороны трапецеидального каркаса, средние значения мини-

[25] Базовый вариант (перекрытие без перфорации). Тип-1
[26] Вариант 1[а]. Тип-1

мальной температуры в зоне сопряжения внутренней грани стены и горизонтальной поверхности диска перекрытия со стороны помещения составили 14,357 °С при температуре наружного воздуха минус 24 °С. В ходе расчёта был определён общий тепловой поток, значение которого составило:

$$Q=48{,}428 \text{ Вт/м}^2, \qquad (Б.1)$$

Потери теплоты Q_j^L , Вт/м через расчётный фрагмент с линейной теплотехнической однородностью j-го вида, приходящиеся на 1 пог. м. зоны сопряжения наружной стеновой конструкции с поверхностью диска перекрытия составили:

$$Q_j^L = Q \cdot 1 \text{ м} = 48{,}428 \ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \qquad (Б.2)$$

Потери теплоты через однородные участки рассматриваемого фрагмента той же площадью составили:

$$Q = \frac{t_B - t_H}{R_0} \cdot S = \frac{\big(20 - (-24)\big)}{2{,}42} \cdot 2{,}18 = 39{,}63 \ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \qquad (Б.3)$$

Удельные потери теплоты через фрагмент узла сопряжения диска перекрытия со стеной равны:

$$\psi = \frac{Q_L - Q}{t_B - t_\text{н}} = \frac{48{,}428 - 39{,}63}{\big(20 - (-24)\big)} = 0{,}2 \ {}^{\text{Вт}}/_{(\text{м} \cdot °\text{C})}, \qquad (Б.4)$$

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче стены. Тип-1. Вариант 1[a]

Рассмотрим предлагаемое конструктивное решение и оценим его вклад в общие потери теплоты. Принятый для сравнения вариант фрагмент теплозащитной оболочки здания приведён в подглаве 3.4.1. Результаты вычислений сведены в таблицу Б.2.

Таблица Б.2– Удельные теплотехнические характеристики. Тип-1. Вариант 1[а]

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты, $\frac{Вт}{(м^2 \cdot {}^oC)}$	Удельные поток теплоты, обусловленный элементом $\frac{Вт}{(м^2 \cdot {}^oC)}$	Доля общего потока теплоты, через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a_{1.1}$= 0,074 м^2/м^2	U_1= 2,59	$U_1 a_{1.1}$= 0,192	25,3
Плоский элемент 2	$a_{2.1}$= 0,926 м^2/м^2	U_2= 0,413	$U_2 a_{2.1}$= 0,382	50,4
Линейный элемент 1	$l_1 = 0{,}315\ м^{-1}$	ψ_1= 0,0477	$\psi_1 l_1$= 0,015	2,0
Линейный элемент 2	$l_{2.1} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.1}$= 0,0745	$\psi_{2.1} l_{2.1}$= 0,0026	0,3
	$l_{2.2} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.2}$= –0,215	$\psi_{2.2} l_{2.2}$= –0,0075	–1,0
Линейный элемент 3	$l_{3.1} = 0{,}371 м^{-1}$	Ψ_3= 0,2	$\Psi_3 l_3$= 0,074	9,8
Точечный элемент 1[27]	n_1= 20,0 1/м^2	χ_1= 0,005	$\chi_1 n_1$= 0,1	13,2
Итого			0,758	100

По формуле 1.5 (см. главу 1) вычислим приведённое сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции (тип-1. Вариант 1[а]) для случая определения удельных потерь теплоты через линейный элемент 3 в программном комплексе ANSYS:

$$R_o^{пр} = \frac{1}{0{,}192 + 0{,}382 + 0{,}015 + 0{,}0026 - 0{,}0075 + 0{,}074 + 0{,}1} = \frac{1}{0{,}758} = 1{,}32 \frac{м^2 \cdot °C}{Вт}, \quad (Б.5)$$

Б.1.2 Тип-2. Вариант 1[а]

Для типа-2 был исследован вариант 1а. Температурные поля и графики распределения по сечение шпонки представлены на рисунках Б.3 и Б.4 соответственно.

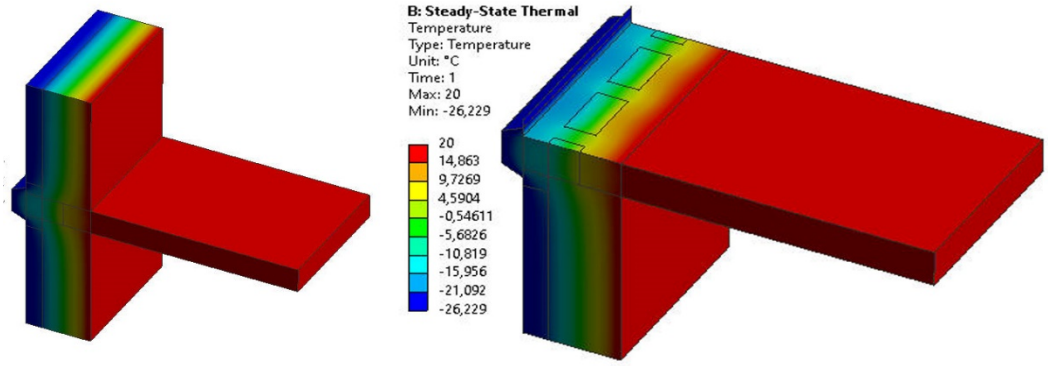


Рисунок Б.3 –Температурные поля узла сопряжения диска перекрытия со стеной. Тип-2.Вариант 1[а]

[27] Принимается по таблице Г.4, СП 230.1325800

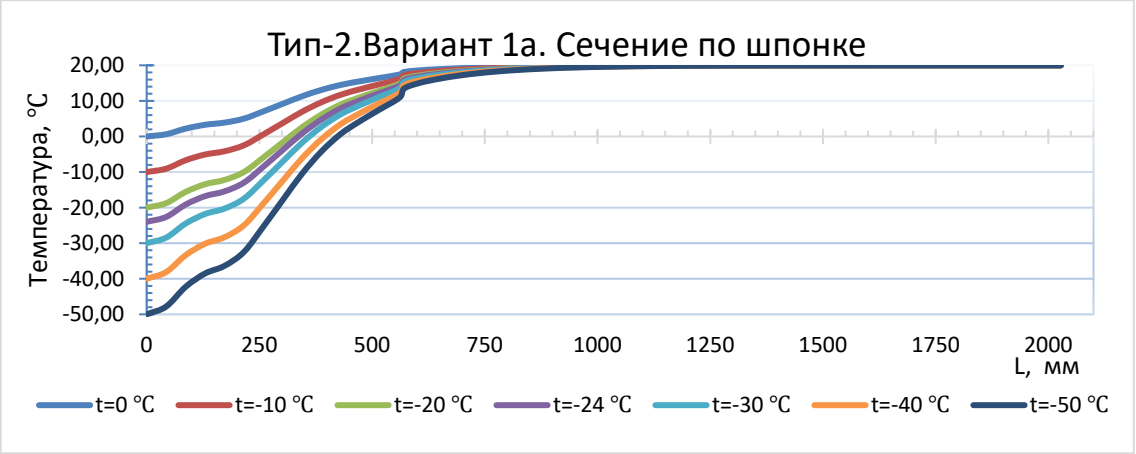


Рисунок Б.4 –Распределение температурных полей по длине диска перекрытия. Тип-2. Вариант 1[а]

В случае, применения отражательной изоляции со стороны трапецеидального каркаса, средние значения минимальной температуры в зоне сопряжения внутренней грани стены и горизонтальной поверхности диска перекрытия со стороны помещения составили 15,62°С при температуре наружного воздуха минус 24 °С. По результатам расчёта трёхмерного температурного поля значение общего теплового потока составило:

$$Q=34{,}64 \text{ Вт/м}^2, \qquad (Б.6)$$

Потери теплоты Q_j^L , Вт/м через расчётный фрагмент с линейной теплотехнической однородностью j-го вида, приходящиеся на 1 пог. м. зоны сопряжения наружной стеновой конструкции с поверхностью диска перекрытия составили:

$$Q_j^L = Q \cdot 1 \text{ м} = 34{,}64 \ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \qquad (Б.7)$$

Потери теплоты через однородные участки рассматриваемого фрагмента той же площадью:

$$Q = \frac{t_B - t_H}{R_0} \cdot S = \frac{\big(20 - (-24)\big)}{2{,}42} \cdot 2{,}18 = 39{,}63 \ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \qquad (Б.8)$$

Удельные потери теплоты через фрагмент узла сопряжения диска перекрытия со стеной равны:

$$\psi = \frac{Q_L - Q}{t_B - t_\text{н}} = \frac{34{,}64 - 39{,}63}{\big(20 - (-24)\big)} = -0{,}1134 \ {}^{\text{Вт}}/_{(\text{м} \cdot °\text{C})}, \qquad (Б.9)$$

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче стены. Тип-2. Вариант 1[а]

Рассмотрим предлагаемое конструктивное решение и оценим его вклад в общие потери теплоты. Описание принятого для сравнения варианта фрагмента теплозащитной

оболочки здания приведено в подглаве 3.4.1. Значения удельных теплотехнических характеристик ограждающей конструкции, приводится в таблице Б.3.

Таблица Б.3– Удельные теплотехнические характеристики. Тип-2. Вариант 1[а]

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты, Вт/(м^2·°С)	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м^2·°С)	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a_{1.1}$=0,074 м^2/м^2	U_1=2,59	$U_1 a_{1.1}$=0,192	30
Плоский элемент 2	$a_{2.1}$=0,926 м^2/м^2	U_2=0,413	$U_2 a_{2.1}$=0,382	59,5
Линейный элемент 1	$l_1 = 0{,}315\ м^{-1}$	ψ_1=0,0477	$\psi_1 l_1$=0,015	2,4
Линейный элемент 2	$l_{2.1} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.1}$=0,0745	$\psi_{2.1} l_{2.1}$=0,0026	0,4
	$l_{2.2} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.2}$= -0,215	$\psi_{2.2} l_{2.2}$= -0,0075	-1,2
Линейный элемент 3	$l_{3.1} = 0{,}371 м^{-1}$	Ψ_3= -0,1134	$\Psi_3 l_3$= -0,042	-6,5
Точечный элемент 1[28]	n_1=20 1/м^2	χ_1=0,005	$\chi_1 n_1$=0,1	15,6
Итого			0,6421	100

По формуле 1.5 вычислим приведённое сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции (тип-2. Вариант 1[а]) для случая определения удельных потерь теплоты через линейный элемент 3 в программном комплексе ANSYS:

$$R_{\text{о}}^{\text{пр}} = \frac{1}{0{,}192 + 0{,}382 + 0{,}015 + 0{,}0026 - 0{,}0075 - 0{,}042 + 0{,}1} = \frac{1}{0{,}642} = 1{,}55\ \frac{\text{м}^2 \cdot ℃}{\text{Вт}}\ , (\text{Б}.10)$$

Б.1.3 Тип-1. Вариант 1б

Средние значения минимальной температуры в зоне сопряжения внутренней грани стены и горизонтальной поверхности диска перекрытия со стороны помещения составили 14,06 °С при температуре наружного воздуха минус 24 °С. В случае, применения отражательной изоляции со стороны трапецеидального каркаса, средние значения минимальной температуры в зоне сопряжения внутренней грани стены и горизонтальной поверхности диска перекрытия со стороны помещения составили 15,03 °С при температуре наружного воздуха минус 24 °С. Результаты расчёта температурных полей приведено на рисунке Б.5.

[28] Принимается по таблице Г.4, СП 230.1325800

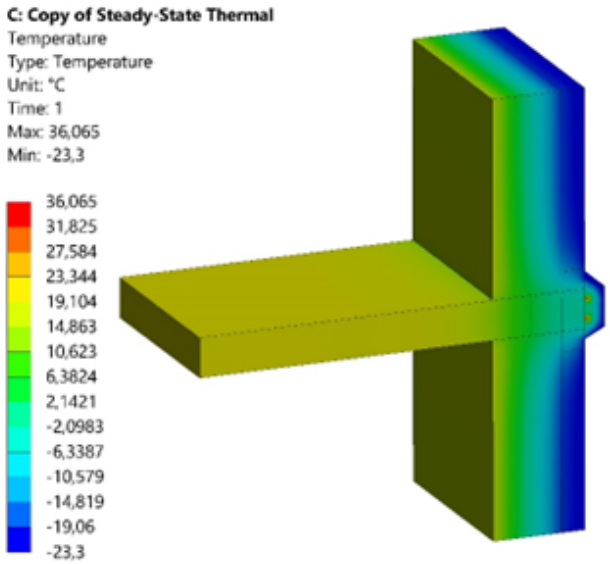


Рисунок Б.5– Температурные поля узла сопряжения диска перекрытия со стеной. Тип-1, вариант 1б

По результатам расчёта трёхмерного температурного поля значение общего теплового потока составило:

$$Q=38{,}8\ \text{Вт/м}^2, \qquad (Б.11)$$

Потери теплоты Q_j^L , Вт/м через расчётный фрагмент с линейной теплотехнической однородностью j-го вида, приходящиеся на 1 пог. м. зоны сопряжения наружной стеновой конструкции с поверхностью диска перекрытия составили:

$$Q_j^L = Q \cdot 1\ \text{м} = 38{,}8\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \qquad (Б.12)$$

Потери теплоты через однородные участки рассматриваемого фрагмента той же площадью:

$$Q = \frac{t_B - t_H}{R_0} \cdot S = \frac{\left(20-(-24)\right)}{2{,}42} \cdot 2{,}18 = 39{,}63\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \qquad (5.13)$$

Удельные потери теплоты через фрагмент узла сопряжения диска перекрытия со стеной равны:

$$\psi = \frac{Q_L - Q}{t_B - t_\text{н}} = \frac{38{,}8 - 39{,}63}{\left(20-(-24)\right)} = -0{,}0188\ {}^{\text{Вт}}/_{(\text{м}\cdot{}^\circ\text{C})}, \qquad (5.14)$$

Значения удельных теплотехнических характеристик, рассматриваемого типа, приводится в таблице Б.4.

Таблица Б.4– Удельные теплотехнические характеристики. Тип-1. Вариант 1б

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты, Вт/(м^2·°С)	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м^2·°С)	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a_{1.1}$=0,074 м^2/м^2	U_1=2,59	$U_1 a_{1.1}$=0,192	29,2
Плоский элемент 2	$a_{2.1}$=0,926 м^2/м^2	U_2=0,413	$U_2 a_{2.1}$=0,382	58,1
Линейный элемент 1	$l_1 = 0{,}315\ м^{-1}$	ψ_1=0,0477	$\psi_1 l_1$=0,015	2,3
Линейный элемент 2	$l_{2.1} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.1}$=0,0745	$\psi_{2.1} l_{2.1}$=0,0026	0,4
	$l_{2.2} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.2}$= -0,215	$\psi_{2.2} l_{2.2}$= -0,0075	-1,1
Линейный элемент 3	$l_{3.1} = 0{,}371 м^{-1}$	Ψ_3= -0,0188	$\Psi_3 l_3$=-0,0263	-4,0
Точечный элемент 1[29]	n_1=20 1/м^2	χ_1=0,005	$\chi_1 n_1$=0,1	15,2
Итого			0,677	100

По формуле 1.5 вычислим приведённое сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции (тип-1. Вариант 1^б) для случая определения удельных потерь теплоты через линейный элемент 3 в программном комплексе ANSYS:

$$R_o^{пр} = \frac{1}{0{,}192 + 0{,}382 + 0{,}015 + 0{,}0026 - 0{,}0075 - 0{,}007 + 0{,}1} = \\ = \frac{1}{0{,}677} = 1{,}47\ \frac{м^2 \cdot °С}{Вт}\ , (Б.15)$$

Б.1.4 Тип-2. Вариант 1^б

Средние значения минимальной температуры в зоне сопряжения внутренней грани стены и горизонтальной поверхности диска перекрытия со стороны помещения составили 15,614 °С при температуре наружного воздуха минус 24 °С. В случае, применения отражательной изоляции со стороны трапецеидального каркаса, средние значения минимальной температуры в зоне сопряжения внутренней грани стены и горизонтальной поверхности диска перекрытия со стороны помещения составили 16,589 °С при температуре наружного воздуха минус 24 °С. Результаты расчёта температурных полей приведено на рисунке Б.6.

[29] Принимается по таблице Г.4, СП 230.1325800

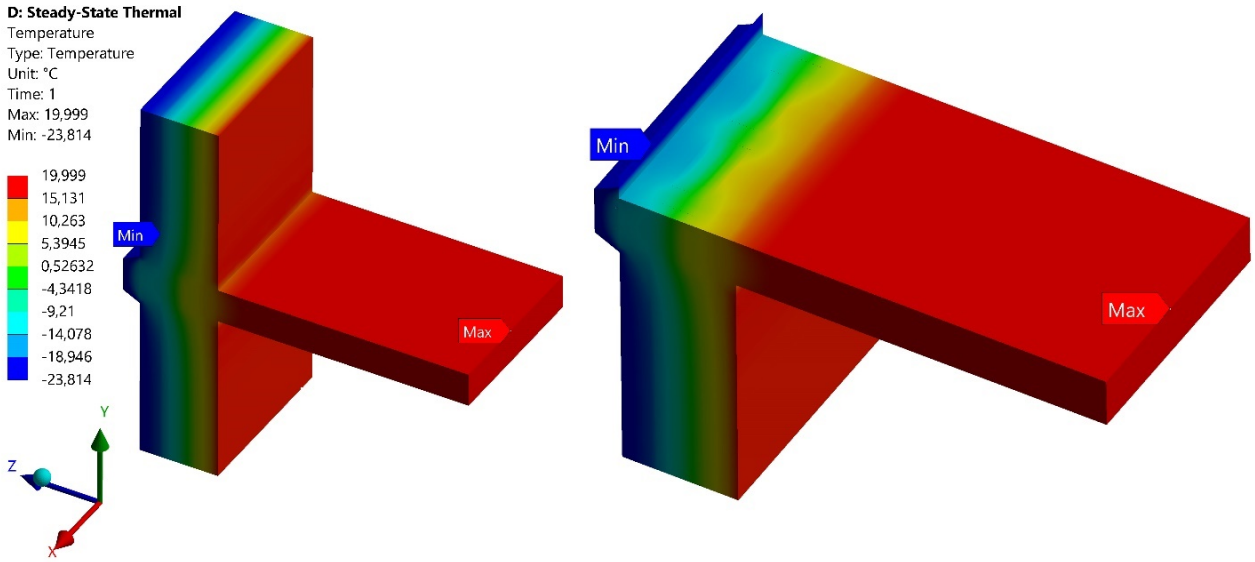


Рисунок Б.6 – Температурные поля узла сопряжения диска перекрытия со стеной. Тип-2, вариант 1б

По результатам расчёта трёхмерного температурного поля значение общего теплового потока составило:

$$Q=27{,}46\ \text{Вт/м}^2, \qquad (Б.16)$$

Потери теплоты Q_j^L , Вт/м через расчётный фрагмент с линейной теплотехнической однородностью j-го вида, приходящиеся на 1 пог. м. зоны сопряжения наружной стеновой конструкции с поверхностью диска перекрытия составили:

$$Q_j^L = Q \cdot 1\ \text{м} = 27{,}46\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \qquad (Б.17)$$

Потери теплоты через однородные участки рассматриваемого фрагмента той же площадью:

$$Q = \frac{t_B - t_H}{R_0} \cdot S = \frac{\left(20-(-24)\right)}{2{,}42} \cdot 2{,}18 = 39{,}63\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \qquad (Б.18)$$

Удельные потери теплоты через фрагмент узла сопряжения диска перекрытия со стеной равны:

$$\psi = \frac{Q_L - Q}{t_B - t_\text{н}} = \frac{27{,}46\ - 39{,}63}{\left(20-(-24)\right)} = -0{,}276\ {}^{\text{Вт}}/_{(\text{м}\cdot{}^\circ\text{C})}, \qquad (Б.19)$$

Значения удельных теплотехнических характеристик, рассматриваемого типа, приводится в таблице Б.5.

Таблица Б.5– Удельные теплотехнические характеристики. Тип-2. Вариант 1б

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты, Вт/(м^2·°С)	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м^2·°С)	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a_{1.1}$=0,074 м^2/м^2	U_1=2,59	$U_1 a_{1.1}$=0,192	33,0
Плоский элемент 2	$a_{2.1}$=0,926 м^2/м^2	U_2=0,413	$U_2 a_{2.1}$=0,382	65,6
Линейный элемент 1	$l_1 = 0{,}315\ м^{-1}$	ψ_1=0,0477	$\psi_1 l_1$=0,015	2,6
Линейный элемент 2	$l_{2.1} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.1}$=0,0745	$\psi_{2.1} l_{2.1}$=0,0026	0,4
	$l_{2.2} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.2}$= -0,215	$\psi_{2.2} l_{2.2}$= -0,0075	-1,3
Линейный элемент 3	$l_{3.1} = 0{,}371 м^{-1}$	Ψ_3= -0,276	$\Psi_3 l_3$=-0,102	-17,5
Точечный элемент 1[30]	n$_1$=20 1/м^2	χ_1=0,005	$\chi_1 n_1$=0,1	17,2
Итого			0,582	100

По формуле 1.5 вычислим приведённое сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции (тип-2. Вариант 1б) для случая определения удельных потерь теплоты через линейный элемент 3 в программном комплексе ANSYS:

$$R_{\text{о}}^{\text{пр}} = \frac{1}{0{,}192 + 0{,}382 + 0{,}015 + 0{,}0026 - 0{,}0075 - 0{,}102 + 0{,}1} = \\ = \frac{1}{0{,}582} = 1{,}72\ \frac{\text{м}^2 \cdot ℃}{\text{Вт}}\ , \qquad (\text{Б. } 20)$$

Б.1.5 Тип-1. Вариант 2а

Средние значения минимальной температуры в зоне сопряжения внутренней грани стены и горизонтальной поверхности диска перекрытия со стороны помещения составили 10,9 °С при температуре наружного воздуха минус 24 °С. Результаты расчёта температурных полей приведено на рисунке Б.7.

[30] Принимается по таблице Г.4, СП 230.1325800

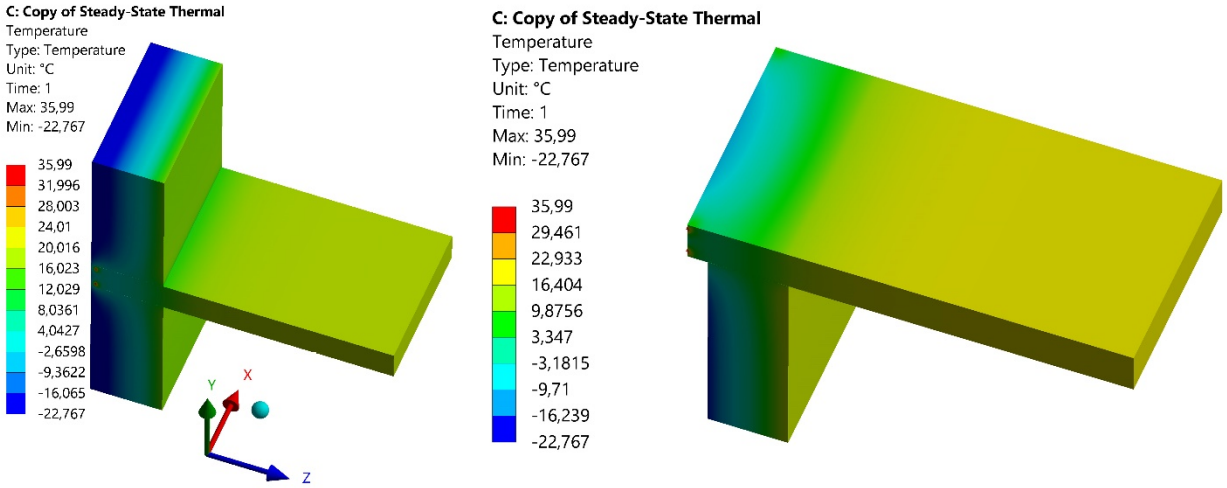


Рисунок Б.7– Температурные поля узла сопряжения диска перекрытия со стеной. Тип-1, вариант 2[а]

По результатам расчёта трёхмерного температурного поля значение общего теплового потока составило:

$$Q=38{,}11\ \text{Вт/м}^2, \qquad (Б.21)$$

Потери теплоты Q_j^L , Вт/м через расчётный фрагмент с линейной теплотехнической однородностью j-го вида, приходящиеся на 1 пог. м. зоны сопряжения наружной стеновой конструкции с поверхностью диска перекрытия составили:

$$Q_j^L = Q \cdot 1\ \text{м} = 38{,}11\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \qquad (Б.22)$$

Потери теплоты через однородные участки рассматриваемого фрагмента той же площадью:

$$Q = \frac{t_B - t_H}{R_0} \cdot S = \frac{\left(20-(-24)\right)}{2{,}42} \cdot 2{,}18 = 39{,}63\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \qquad (Б.23)$$

Удельные потери теплоты через фрагмент узла сопряжения диска перекрытия со стеной равны:

$$\psi = \frac{Q_L - Q}{t_B - t_\text{н}} = \frac{38{,}11 - 39{,}63}{\left(20-(-24)\right)} = -0{,}0346\ {}^{\text{Вт}}/_{(\text{м}\cdot{}^\circ\text{C})}, \qquad (Б.24)$$

Значения удельных теплотехнических характеристик, рассматриваемого типа, приводится в таблице Б.6.

Таблица Б.6– Удельные теплотехнические характеристики. Тип-1. Вариант 2[а]

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты, Вт/(м^2·°С)	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м^2·°С)	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a_{1.1}$=0,074 м^2/м^2	U_1=2,59	$U_1\, a_{1.1}$=0,192	28,6
Плоский элемент 2	$a_{2.1}$=0,926 м^2/м^2	U_2=0,413	$U_2 a_{2.1}$=0,382	56,9
Линейный элемент 1	$l_1 = 0{,}315\ м^{-1}$	ψ_1=0,0477	$\psi_1\, l_1$=0,015	2,2
Линейный элемент 2	$l_{2.1} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.1}$=0,0745	$\psi_{2.1}\, l_{2.1}$=0,0026	0,4
	$l_{2.2} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.2}$= -0,215	$\psi_{2.2}\, l_{2.2}$= -0,0075	-1,1
Линейный элемент 3	$l_{3.1} = 0{,}371 м^{-1}$	Ψ_3= -0,0346	$\Psi_3\, l_3$= -0,0128	-1,9
Точечный элемент 1[31]	n_1=20 1/м^2	χ_1=0,005	$\chi_1\, n_1$=0,1	14,9
Итого			0,671	100

По формуле 1.5 вычислим приведённое сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции (Тип-1. Вариант 2[а]) для случая определения удельных потерь теплоты через линейный элемент 3 в программном комплексе ANSYS:

$$R_{\text{о}}^{\text{пр}} = \frac{1}{0{,}192 + 0{,}382 + 0{,}015 + 0{,}0026 - 0{,}0075 - 0{,}0128 + 0{,}1} = \\ = \frac{1}{0{,}671} = 1{,}49\ \frac{\text{м}^2 \cdot °\text{C}}{\text{Вт}}\ , \qquad (\text{Б}.25)$$

Б.1.6 Тип-2. Вариант 2а

В случае, применения отражательной изоляции со стороны торца диска перекрытия, средние значения минимальной температуры в зоне сопряжения внутренней грани стены и горизонтальной поверхности диска перекрытия со стороны помещения составили 20 °С при температуре наружного воздуха минус 24 °С. Результаты расчёта температурных полей приведено на рисунке Б.8.

По результатам расчёта трёхмерного температурного поля значение общего теплового потока составило:

$$Q=32{,}82\ \text{Вт/м}^2, \qquad (\text{Б}.26)$$

[31] Принимается по таблице Г.4, СП 230.1325800

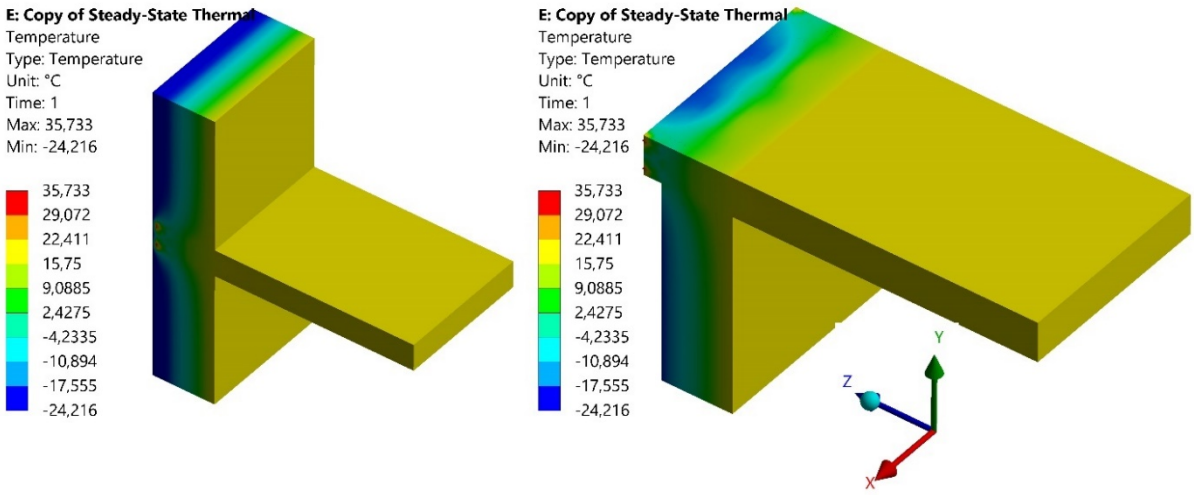


Рисунок Б.8– Температурные поля узла сопряжения диска перекрытия со стеной. Тип-2, вариант 2[а]

Потери теплоты Q_j^L , Вт/м через расчётный фрагмент с линейной теплотехнической однородностью j-го вида, приходящиеся на 1 пог. м. зоны сопряжения наружной стеновой конструкции с поверхностью диска перекрытия составили:

$$Q_j^L = Q \cdot 1\text{ м} = 32{,}82\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \qquad (\text{Б}.27)$$

Потери теплоты через однородные участки рассматриваемого фрагмента той же площадью:

$$Q = \frac{t_B - t_H}{R_0} \cdot S = \frac{\big(20 - (-24)\big)}{2{,}42} \cdot 2{,}18 = 39{,}63\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \qquad (\text{Б}.28)$$

Удельные потери теплоты через фрагмент узла сопряжения диска перекрытия со стеной равны:

$$\psi = \frac{Q_L - Q}{t_B - t_\text{н}} = \frac{32{,}82 - 39{,}63}{\big(20 - (-24)\big)} = -0{,}154\ {}^{\text{Вт}}/_{(\text{м} \cdot {}^\circ\text{C})}, \qquad (\text{Б}.29)$$

Значения удельных теплотехнических характеристик, рассматриваемого типа, приводится в таблице Б.7.

Таблица Б.7– Удельные теплотехнические характеристики. Тип-2. Вариант 2[а]

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты, Вт/(м^2·°С)	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м^2·°С)	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a_{1.1}$=0,074 м^2/м^2	U_1=2,59	$U_1 a_{1.1}$=0,192	30,6
Плоский элемент 2	$a_{2.1}$=0,926 м^2/м^2	U_2=0,413	$U_2 a_{2.1}$=0,382	61,0
Линейный элемент 1	$l_1 = 0{,}315\ м^{-1}$	ψ_1=0,0477	$\psi_1 l_1$=0,015	2,4
Линейный элемент 2	$l_{2.1} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.1}$=0,0745	$\psi_{2.1} l_{2.1}$=0,0026	0,4
	$l_{2.2} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.2}$= -0,215	$\psi_{2.2} l_{2.2}$= -0,0075	-1,2
Линейный элемент 3	$l_{3.1} = 0{,}371 м^{-1}$	Ψ_3= -0,154	$\Psi_3 l_3$= -0,0574	-9,2
Точечный элемент 1[32]	n$_1$=20 1/м^2	χ_1=0,005	$\chi_1 n_1$=0,1	16,0
Итого			0,626	100

По формуле 1.5 вычислим приведённое сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции (тип-2. Вариант 2[а]) для случая определения удельных потерь теплоты через линейный элемент 3 в программном комплексе ANSYS:

$$R_{\text{о}}^{\text{пр}} = \frac{1}{0{,}192 + 0{,}382 + 0{,}015 + 0{,}0026 - 0{,}0075 - 0{,}0574 + 0{,}1} = \\ = \frac{1}{0{,}626} = 1{,}6\ \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}{\text{Вт}}\ , \qquad (\text{Б}.30)$$

Б.1.7 Тип-1. Вариант 2б

В случае, применения отражательной изоляции со стороны торца диска перекрытия средние значения минимальной температуры в зоне сопряжения внутренней грани стены и горизонтальной поверхности диска перекрытия со стороны помещения составили 13,18 °С при температуре наружного воздуха минус 24 °С. Результаты расчёта температурных полей приведено на рисунке Б.9.

По результатам расчёта трёхмерного температурного поля значение общего теплового потока составило:

$$Q=36{,}5\ \text{Вт/м}^2, \qquad (\text{Б}.31)$$

[32] Принимается по таблице Г.4, СП 230.1325800

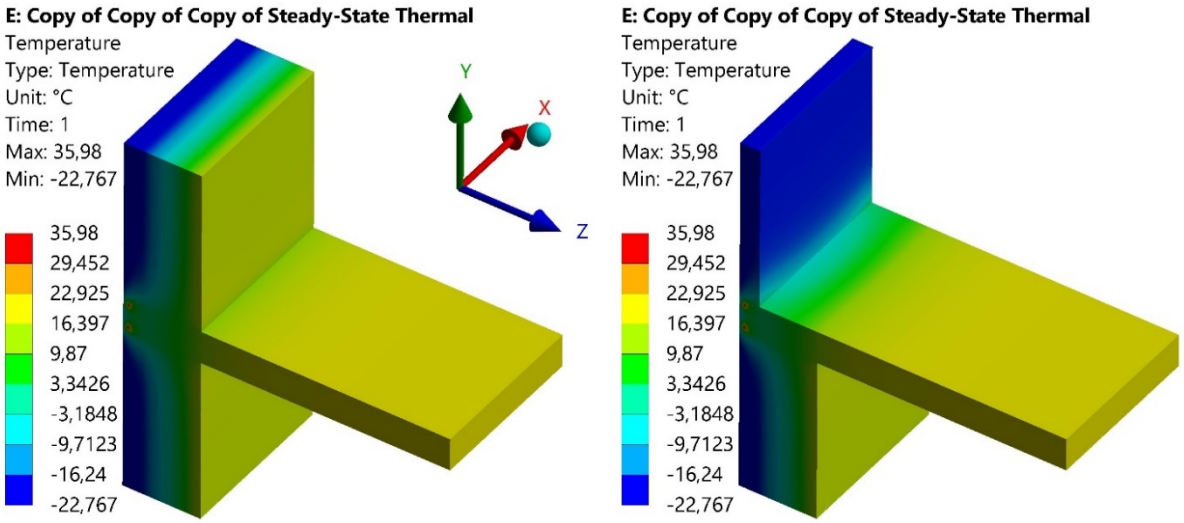


Рисунок Б.9– Температурные поля узла сопряжения диска перекрытия со стеной. Тип-1, вариант $2^б$

Потери теплоты Q_j^L , Вт/м через расчётный фрагмент с линейной теплотехнической однородностью j-го вида, приходящиеся на 1 пог. м. зоны сопряжения наружной стеновой конструкции с поверхностью диска перекрытия составили:

$$Q_j^L = Q \cdot 1 \text{ м} = 36{,}5 \ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \qquad (\text{Б. } 32)$$

Потери теплоты через однородные участки рассматриваемого фрагмента той же площадью:

$$Q = \frac{t_в - t_н}{R_0} \cdot S = \frac{(20-(-24))}{2{,}42} \cdot 2{,}18 = 39{,}63 \ Вт/м \qquad (\text{Б.33})$$

Удельные потери теплоты через фрагмент узла сопряжения диска перекрытия со стеной равны:

$$\psi = \frac{Q_L - Q}{t_в - t_н} = \frac{36{,}5-39{,}63}{(20-(-24))} = -0{,}071 \ Вт/(м \cdot °C) \qquad (\text{Б.34})$$

Значения удельных теплотехнических характеристик, рассматриваемого типа, приводится в таблице Б.8.

Таблица Б.8– Удельные теплотехнические характеристики.Тип-1. Вариант 2б

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты, Вт/(м^2·°С)	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м^2·°С)	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a_{1.1}$=0,074 м^2/м^2	U_1=2,59	$U_1 a_{1.1}$=0,192	29,2
Плоский элемент 2	$a_{2.1}$=0,926 м^2/м^2	U_2=0,413	$U_2 a_{2.1}$=0,382	58,1
Линейный элемент 1	$l_1 = 0{,}315\ м^{-1}$	ψ_1=0,0477	$\psi_1 l_1$=0,015	2,3
Линейный элемент 2	$l_{2.1} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.1}$=0,0745	$\psi_{2.1} l_{2.1}$=0,0026	0,4
	$l_{2.2} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.2}$= -0,215	$\psi_{2.2} l_{2.2}$= -0,0075	-1,1
Линейный элемент 3	$l_{3.1} = 0{,}371 м^{-1}$	Ψ_3= -0,071	$\Psi_3 l_3$= -0,0263	-4,0
Точечный элемент 1[33]	n_1=20 1/м^2	χ_1=0,005	$\chi_1 n_1$=0,1	15,2
Итого			0,657	100

По формуле 1.5 вычислим приведённое сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции (тип-1. Вариант 2б) для случая определения удельных потерь теплоты через линейный элемент 3 в программном комплексе ANSYS:

$$R_{\text{о}}^{\text{пр}} = \frac{1}{0{,}192 + 0{,}382 + 0{,}015 + 0{,}0026 - 0{,}0075 - 0{,}0263 + 0{,}1} = \\ = \frac{1}{0{,}657} = 1{,}52\ \frac{\text{м}^2 \cdot ℃}{\text{Вт}}\ , \qquad (\text{Б}.35)$$

Б.1.8 Тип-2. Вариант 2б

В случае, применения отражательной изоляции со стороны торца диска перекрытия средние значения минимальной температуры в зоне сопряжения внутренней грани стены и горизонтальной поверхности диска перекрытия со стороны помещения составили 20 °С при температуре наружного воздуха минус 24 °С. Результаты расчёта температурных полей приведено на рисунке 5.14. Представленное на рисунке Б.10 конструктивное решение было рассчитано для узла сопряжения диска перекрытия со стеной, относящееся к типу 1.

[33] Принимается по таблице Г.4, СП 230.1325800

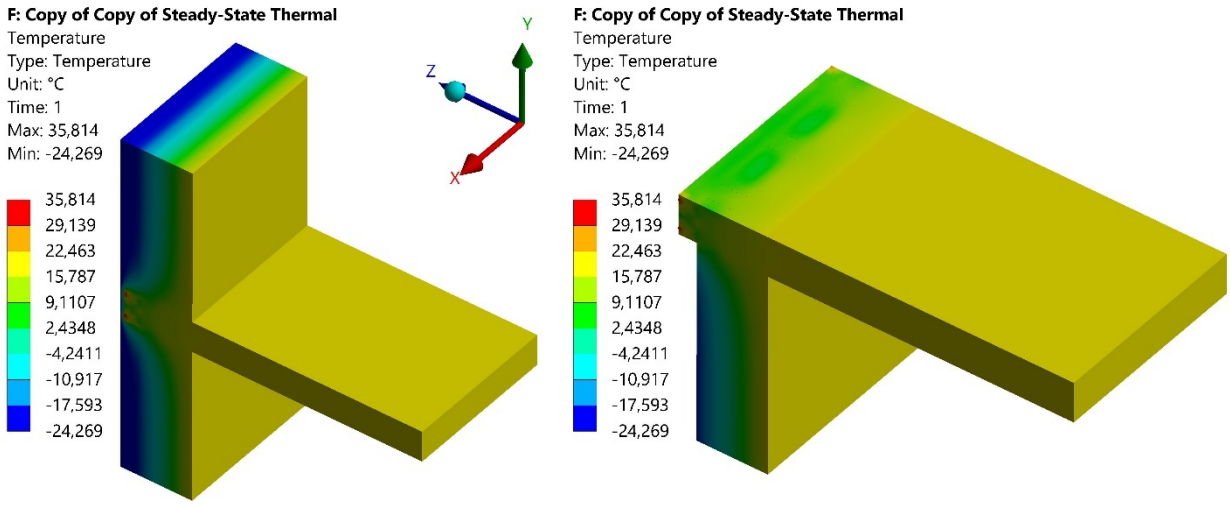


Рисунок Б.10– Температурные поля узла сопряжения диска перекрытия со стеной. Тип-2, вариант 2б

По результатам расчёта трёхмерного температурного поля значение общего теплового потока составило:

$$Q=32{,}12 \text{ Вт/м}^2, \qquad (Б.36)$$

Потери теплоты Q_j^L , Вт/м через расчётный фрагмент с линейной теплотехнической однородностью j-го вида, приходящиеся на 1 пог. м. зоны сопряжения наружной стеновой конструкции с поверхностью диска перекрытия составили:

$$Q_j^L = Q \cdot 1 \text{ м} = 32{,}12 \ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \qquad (Б.37)$$

Потери теплоты через однородные участки рассматриваемого фрагмента той же площадью:

$$Q = \frac{t_B - t_H}{R_0} \cdot S = \frac{\left(20 - (-24)\right)}{2{,}42} \cdot 2{,}18 = 39{,}63 \ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \qquad (Б.38)$$

Удельные потери теплоты через фрагмент узла сопряжения диска перекрытия со стеной равны:

$$\psi = \frac{Q_L - Q}{t_B - t_\text{н}} = \frac{32{,}12 - 39{,}63}{\left(20 - (-24)\right)} = -0{,}170 \ {}^{\text{Вт}}/_{(\text{м} \cdot °\text{C})}, \qquad (Б.39)$$

Значения удельных теплотехнических характеристик, рассматриваемого типа, приводится в таблице Б.9.

Таблица Б.9– Геометрические и теплозащитные характеристики элементов. Тип-2. Вариант $2^{б}$

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты, Вт/(м^2·°С)	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м^2·°С)	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a_{1.1}$=0,074 м^2/м^2	U_1=2,59	$U_1\ a_{1.1}$=0,192	31
Плоский элемент 2	$a_{2.1}$=0,926 м^2/м^2	U_2=0,413	$U_2 a_{2.1}$=0,382	62
Линейный элемент 1	$l_1 = 0{,}315\ м^{-1}$	ψ_1=0,0477	$\psi_1\ l_1$=0,015	2
Линейный элемент 2	$l_{2.1} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.1}$=0,0745	$\psi_{2.1}\ l_{2.1}$=0,0026	0,4
	$l_{2.2} = 0{,}035 м^{-1}$	$\Psi_{2.2}$= -0,215	$\psi_{2.2}\ l_{2.2}$= -0,0075	-1,2
Линейный элемент 3	$l_{3.1} = 0{,}371 м^{-1}$	Ψ_3= -0,170	$\Psi_3\ l_3$= -0,0633	-10,2
Точечный элемент 1[34]	n$_1$=20 1/м^2	χ_1=0,005	$\chi_1\ n_1$=0,1	16,1
Итого			0,620	100

По формуле 1.5 вычислим приведённое сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции (тип-2. Вариант $2^{б}$) для случая определения удельных потерь теплоты через линейный элемент 3 в программном комплексе ANSYS:

$$R_{\text{о}}^{\text{пр}} = \frac{1}{0{,}192 + 0{,}382 + 0{,}015 + 0{,}0026 - 0{,}0075 - 0{,}170 + 0{,}1} = \\ = \frac{1}{0{,}62} = 1{,}61\ \frac{\text{м}^2 \cdot ℃}{\text{Вт}}\ , \qquad (\text{Б}.40)$$

[34] Принимается по таблице Г.4, СП 230.1325800

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

Основные публикации по теме диссертации в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК РФ, включающие работы, опубликование которых, приравниваются к публикациям в рецензируемых изданиях, в которых излагаются основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней»).

1. **Кузнецов А. В.** Недостатки зданий монолитно-каркасной конструкции г. Санкт-Петербурга / А. В. Кузнецов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2005. – № 3(5). –37-41 с.

2. Белаш Т.А., **Кузнецов А. В.** Исследование теплофизических свойств ограждающих конструкций в монолитно-кирпичных домах Санкт-Петербурга // Жилищное строительство: Научно-технический и производственный журнал / ЦНИИЭП жилища. –М. : Ладья. –2007. –№10. – 28-29 с.

3. Белаш Т.А., **Кузнецов А.В.** Теплотехнические качества монолитных жилых зданий// Жилищное строительство: Научно-технический и производственный журнал / ЦНИИЭП жилища. –М.: Ладья.– 2009 г. № 9. – 22-24 с.

4. **Кузнецов А.В.** Исследования по повышению теплотехнических качеств железобетонных плит перекрытий в монолитно-каркасных домах // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб : ПГУПС. –2011. –Вып. 4 (29). – 120-127 с.

5. **Кузнецов А.В.** Утепление узлов сопряжения стен с диском перекрытия в монолитных домах // Журнал «Жилищное строительство» –М.: Ладья.– 2013 г. № 8. – 32-36 с.

6. **Kuznetsov A. V.** Temperature stresses in the perforated overlap disc / A. V. Kuznetsov, S. S. Zimin // Construction of Unique Buildings and Structures. – 2022. – No 3(101). – P. 10103. – DOI 10.4123/CUBS.101.3.

7. Патент на полезную модель № 113754 U1 Российская Федерация, МПК E04B 1/78. Устройство для утепления наружной стены здания : № 2011142662/03: заявл. 21.10.2011: опубл. 27.02.2012 / **А. В. Кузнецов**, Т. А. Белаш; заявитель Федеральное

государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Петербургский государственный университет путей сообщения".

8. Патент на полезную модель № 114074 U1 Российская Федерация, МПК E04B 1/78. Устройство для утепления наружной стены здания: № 2011142535/03: заявл. 20.10.2011: опубл. 10.03.2012 / **А. В. Кузнецов**; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Петербургский государственный университет путей сообщения".

9. Патент на полезную модель № 118655 U1 Российская Федерация, МПК E04B 2/00, E04B 1/76. Многослойная стена с регулируемыми теплозащитными свойствами: № 2012111772/03: заявл. 27.03.2012: опубл. 27.07.2012 / **А. В. Кузнецов**, В. Б. Мартиров; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Петербургский государственный университет путей сообщения".

10. Патент на полезную модель № 118988 U1 Российская Федерация, МПК E04B 2/00, E04B 1/76. Многослойная стена с регулируемыми теплозащитными свойствами: № 2012111774/03: заявл. 27.03.2012: опубл. 10.08.2012 / **А. В. Кузнецов**, В. Б. Мартиров; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Петербургский государственный университет путей сообщения".

11. Патент на полезную модель № 118989 U1 Российская Федерация, МПК E04B 2/00, E04B 1/76. Многослойная стена с регулируемыми теплозащитными свойствами : № 2012111776/03: заявл. 27.03.2012 : опубл. 10.08.2012 / **А. В. Кузнецов**, В. Б. Мартиров; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Петербургский государственный университет путей сообщения".

12. Патент на полезную модель № 134961 U1 Российская Федерация, МПК E04B 1/78. Устройство для утепления наружной стены здания: № 2013133664/03: заявл. 18.07.2013: опубл. 27.11.2013 / **А. В. Кузнецов**, П. Е. Левин, Ю. А. Левина, О. В. Щербакова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего профессионального образования "Петербургский государственный университет путей сообщения".

13. Патент на полезную модель № 199000 U1 Российская Федерация, МПК E04B 1/78. Устройство для повышения теплозащитных качеств наружной стены здания : № 2020111631: заявл. 19.03.2020: опубл. 06.08.2020 / **А. В. Кузнецов**; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I".

14. Патент на полезную модель № 199001 U1 Российская Федерация, МПК E04B 1/78. Устройство для утепления наружной стены здания: № 2020111623: заявл. 19.03.2020 : опубл. 06.08.2020 / **А. В. Кузнецов**, М. В. Калушин, А. М. Дёмин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I".

15. Патент на полезную модель № 199431 U1 Российская Федерация, МПК E04B 1/76. Устройство для повышения теплозащитных качеств наружной стены здания: № 2020111632: заявл. 19.03.2020 : опубл. 01.09.2020 / **А. В. Кузнецов**; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I".

Публикации в научных изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus:

16. Belash T. A. Energy Efficient Wall Enclosing Structures / T. A. Belash, **A. V. Kuznetsov** // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vladivostok, 02–04 октября 2018 года. – Vladivostok: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 032052. – DOI 10.1088/1757-899X/463/3/032052. – EDN EFDRNS. Белаш Т.А., **Кузнецов А.В.** Энергоэффективные стеновые ограждающие конструкции [Текст]: Серия конференций IOP: материаловедение и инженерия// Международная мультиконференция по промышленному инжинирингу и современным технологиям 2018. Владивосток, 02-04 октября

2018 г. года. Издательство Института физики РАН, 2018. URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/463/3/032052/pdf (дата обращения 07.03.2021).

17. **Kuznetsov A. V**. Energy Efficient Design Solution for the Interface Node Between the Floor Slab and the Wall / A. V. Kuznetsov, A. M. Demin // International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia - 2021, Novosibirsk, 11–14 мая 2021 года / Editors: Aleksey Manakov, Arkadii Edigarian. – Novosibirsk: Springer Nature Switzerland AG, 2022. – P. 799-807. – DOI 10.1007/978-3-030-96380-4_87. **Кузнецов А. В.** Энергоэффективное конструктивное решение узла сопряжения диска перекрытия со стеной / А. В. Кузнецов, А. М. Демин // Международный научный Сибирский транспортный форум "Транссибирь - 2021", Новосибирск, 11-14 июня 2021 г. / Редакторы: Алексей Манаков, Аркадий Едигарян. – Новосибирск: Springer Nature Switzerland AG, 2022. – С. 799-807. – DOI 10.1007/978-3-030-96380-4_87.

Другие публикации по теме диссертации:

18. Кузнецов А.В. Дефекты монолитно-каркасных зданий/ А.В. Кузнецов// Информационно-вычислительные технологии и их приложения: сб. матер. межд. науч.-тех. конф.: Пенза– 2005, с.128-130.

19. Кузнецов А.В. Вопросы тепловой защиты зданий монолитно-каркасной конструкции в С.-Петербурге/ А.В. Кузнецов// в сб.: Новые исследования в областях водоснабжения, водоотведения, гидравлики и охраны водных ресурсов. материалы 3-х акад. чтений, проведенных в ПГУПСе.: СПб –2006. С. 66-68.

20. Кузнецов А.В. Исследования энергосберегающих зданий монолитно-каркасной конструкции в Санкт-Петербурге/ А.В. Кузнецов// в сб.: Ресурсосберегающие технологии в транспортном строительстве и путевом хозяйстве железных дорог. Сб. научных тр. по материалам Международной научно-практической интернет-конференции. под редакцией доктора технических наук, профессора Т.М. Петровой.: СПб– 2006. С. 121-123.

21. Белаш Т.А., Ю.М. Маков, Кузнецов А.В. Анализ теплотехнических качеств системы скреплённой теплоизоляции монолитных жилых зданий г. С- Петербурга / Т.А.

Белаш, Ю.М. Маков, А.В. Кузнецов// в кн.: Развитие монолитного домостроения в жилищно-гражданском строительстве. II Межрегиональная научно-практическая конференция. 2009. С. 103-107.

22. Kuznetsov A.V. STUDY OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF BUILDING ENVELOPES IN THE MONOLITH- BRICK HOUSES OF ST.PETERSBURG/ A.V. Kuznetsov// MECHANICS TRANSPORT COMMUNICATIONS. Academic journal. Сер. "International scientific conference "TRANSPORT"" The editorial board includes professors with academic ranks from the Tododr Kableshkov Higher School in Sofia, Gabrovo Technical University and the Lyuben Karavelov Higher School of Construction in Sofia.. Sofia, 2011. С. 38-43.

23. Кузнецов А.В. Оценка теплотехнических качеств зданий монолитной конструкции Санкт-Петербурга/ А.В. Кузнецов // в сб.: Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий. сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции [09-10.12.2010, Санкт-Петербург]. Сер. "Библиотека "Инженерно-строительного журнала"" М-во образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский гос. политехнический ун-т ; под науч. ред. Н. И. Ватина. Санкт-Петербург, 2011. С. 35-43.

24. Белаш Т.А., Кузнецов А.В. Способы повышения теплотехнических качеств ограждающих конструкций монолитных домов г. С- Петербурга / Т.А. Белаш, А.В. Кузнецов// в сб.: Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций. Материалы XVI научно-методической конференции ВИТУ, посвященной 85-летию со дня рождения профессора В.Т. Гроздова. Санкт-Петербургский филиал военной академии тыла и транспорта (ВИТУ). 2012. с. 173-176.

25. Кузнецов А.В. Предлагаемые решения устройств по утеплению узлов сопряжения стен с диском перекрытия в монолитных домах/ А.В. Кузнецов //в сб.: Актуальные вопросы строительной физики. Энергосбережение. Надежность строительных конструкций и экологическая безопасность. Материалы международной научной конференции, V Академических чтений, посвященных памяти академика РААСН Осипова Г.Л.– М.: НИИСФ – 2013. с. 498.

26. Кузнецов А.В. Конструктивные решения устройств по утеплению узлов сопряжения стен с диском перекрытия гражданских зданий/ А.В. Кузнецов// Механика, Транспорт, Комуникации. 2014. Т. 12. № 3.: София, 2014 – С. 11-18.

27. Кузнецов А.В. Варианты конструктивных решений устройств дополнительной теплозащиты зданий монолитной конструкции/ А.В. Кузнецов// в сб.: Проблемы и достижения в области строительного инжиниринга. Сборник материалов научно-методической конференции, посвященной 150-летию кафедры "Здания". Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I"/ сост. Асс. А.В. Кузнецов, под общ. ред. д.т.н., проф. Белаш Т.А. – СПб.: ФГБОУ ВПО ПГУПС,2015 с. 77-84.

28. Кузнецов А.В. Усиление теплотехнических качеств ограждающих конструкций зданий гражданского назначения/ А.В. Кузнецов//в сб.: Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций. Сборник научных статей XIX научно-методической конференции ВИТУ (19 марта 2015 г.)/ ВИ(ИТ) ВА МТО (ВИТУ).– СПб., 2015. с. 208-211.

29. Кузнецов А.В. Энергоэффективные биопозитивные конструкции в зданиях гражданского назначения для условий Санкт-Петербурга/ А.В. Кузнецов// Бюллетень результатов научных исследований. 2016. № 3-4 (20-21). – СПб, 2016. с. 44-50.

30. Дёмин А.М., Кузнецов А.В. Математическое моделирование узла сопряжения диска перекрытия со стеной// А.М. Дёмин, А.В. Кузнецов// в кн.: Строительные материалы, конструкции и сооружения XXI века. материалы I Международной научно-практической конференции. – СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. с. 66.

31. Дёмин А.М., Кузнецов А.В. О моделировании теплообмена в узле сопряжения диска перекрытия со стеной/ А.М. Дёмин, А.В. Кузнецов// в сб.: Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники. III Всероссийская научно-практическая конференция. Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского. Санкт-Петербург, 2016. с. 421-425.

32. Белаш Т.А., Кузнецов А.В. Создание комфортной среды проживания за счёт использования биопозитивной конструкции/ Т.А. Белаш, А.В. Кузнецов// в сб.: Актуальные вопросы промышленного, гражданского и транспортного строительства. сборник

статей преподавателей и студентов факультета "Промышленное и гражданское строительство".– СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. с. 22-27.

33. Кузнецов А.В., Калушин М.В. Обеспечение теплозащитных качеств модульных зданий контейнерного типа в суровых климатических условиях/ А.В. Кузнецов, М.В. Калушин// в сб.: Проблемы и достижения в области строительного инжиниринга. сборник материалов внутрифакультетской научной конференции, посвященный 210-летию Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I и 155-летию кафедры «Здания». – СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2019. с. 132-138.

34. Захаров А.В., Третьякова Е.Г., Кузнецов А.В. Планировочные и конструктивные мероприятия, обеспечивающие комфортные условия проживания в криолитозоне/ А.В. Захаров, Е.Г. Третьякова, А.В. Кузнецов//в сб.: ТРАНСПОРТ: ПРОБЛЕМЫ, ИДЕИ, ПЕРСПЕКТИВЫ. сборник трудов LXXX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Федеральное агентство железнодорожного транспорта, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I». – СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2020. с. 185-187.

35. Кузнецов, А. В. Инновационные решения, повышающие теплозащитные качества наружных стен здания / А. В. Кузнецов // III Бетанкуровский международный инженерный форум : Сборник трудов, Санкт-Петербург, 02–03 декабря 2021 года. – Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2021. – С. 228-231.

36. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2022669823 Российская Федерация. Программа для расчёта эффективной теплопроводности участка диска перекрытия с перфорацией/ А.В. Кузнецов, А.М. Дёмин; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС).– №2022669101; заявл. 14.10.2022; опубл. 25.10.2022.– 1 с.