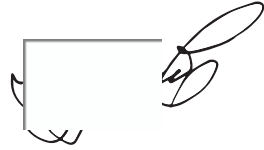


На правах рукописи



КУЗНЕЦОВ Анатолий Всеволодович

**УЗЛЫ СОПРЯЖЕНИЯ ДИСКА ПЕРЕКРЫТИЯ
С ОГРАЖДАЮЩИМИ СТЕНОВЫМИ
КОНСТРУКЦИЯМИ В МОНОЛИТНОМ
ДОМОСТРОЕНИИ**

Специальность:

2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
Белаш Татьяна Александровна

Официальные оппоненты: **Умнякова Нина Павловна**,
доктор технических наук, доцент,
федеральное государственное бюджетное учреждение
«Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН), г. Москва, заместитель директора по науке;

Немова Дарья Викторовна,
кандидат технических наук,
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Высшая школа промышленно-гражданского и дорожного строительства; Инженерно-строительный институт, доцент

Ведущая организация: **Военный институт (инженерно-технический) ФГК ВОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулева»**

Защита состоится «2» марта 2023 года в 13:30 часов на заседании диссертационного совета 24.2.380.01 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4, зал заседаний диссертационных советов (аудитория №220 главного корпуса).

Тел./Факс: (812) 316-58-73; E-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте: <https://dis.spbgasu.ru/specialty/personal/kuznecov-anatoliy-vsevolodovich>

Автореферат разослан «8» декабря 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Попов Владимир Минович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 действующей нормативной базы.

Широкое распространение в строительной практике получило возведение зданий по монолитной технологии. Характерная особенность таких зданий – узлы сопряжений дисков 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 повреждений. 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., Мерзвинский Б. Д., Броннер 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., Умякова Н. П., Румянцева И. А., Хлевчук В. Р., Артыкпаев Е. Т., Дацок 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 сопряжений дисков перекрытий с наружными стеновыми конструкциями монолитных зданий, с учётом температурно-влажностных воздействий и оценки их теплотехнических качеств, носили локальный характер. Анализ выполненных исследований свидетельствует о том, что конструктивные решения в рассматриваемых типах зданий 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 дисков перекрытий с наружными стенами 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 результатов исследования заключается в следующем:

1) на основе натурных и численных исследований установлены закономерности распределения температурных полей в применяемых на практике узлах сопря-

жения 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 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; 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) усовершенствованные известные и разработанные 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 натуральных 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 «ЛЕННИИ-ПРОЕКТ» – 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, 2012 г.). 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”, посвящённой 90-летию кафедр железобетонных и каменных конструкций, конструкций из дерева и пластмасс, металлических конструкций и испытаний сооружений ФГБОУ ВО «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 объём составляет 206 страниц машинописного текста, в том числе 94 рисунка, 30 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во *введении* обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, определены объект и предмет исследования, изложены положения, составляющие научную новизну, теоретическую и практическую значимость результатов.

В *первой главе* представлены результаты анализа, систематизации (см. рис. 1) и основных показателей технического состояния конструкций зданий, возводимых по монолитной технологии.

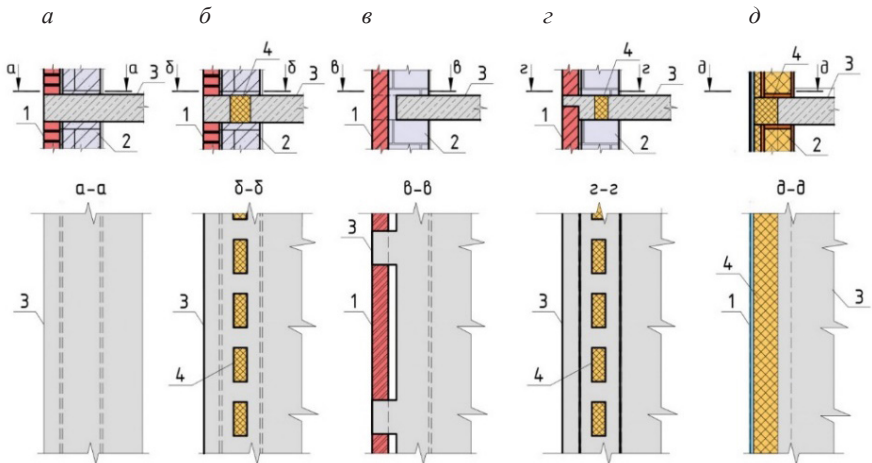


Рисунок 1 – Типология узлов сопряжения дисков перекрытий со стеной:
а – перекрытие без утеплителя (тип-1); *б* – перекрытие с перфорацией (тип-2);
в – перекрытие с консольными выпусками (тип-3); *г* – перекрытия с подрезкой в виде «зуба» (тип-4); *д* – перекрытие с внешним теплоизоляционным слоем (тип-5);
1 – наружный (лицевой) слой; *2* – внутренний слой; *3* – диск перекрытия;
4 – теплоизоляция (термовкладыш)

Например, единственным документом, регулирующим в теплотехническом отношении вариативность шага перфорации в наиболее распространённых типах дисков перекрытия с устройством термовкладышей, включающим его ширину и длину, является СП 230.1325800.2015.

В зданиях, возводимых по монолитной технологии, за короткий срок эксплуатации образуются характерные повреждения наружных ограждений (см. рис. 2). Такие повреждения вызваны многоцикловыми температурно-климатическими воздействиями, оказывающими на здание негативное влияние в течение его жизненного цикла, и снижают уровень безопасности и комфорта проживающих. Представленный анализ эксплуатационных качеств зданий, возведённых по монолитной технологии, позволил сформулировать цель и задачи исследования.



Рисунок 2 – Деструкция и повреждения кирпичной кладки в зданиях монолитной конструкции:

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

Вторая глава посвящена оценке фактического состояния эксплуатационных качеств характерных типов узлов сопряжения диска перекрытия со стеной (типы-2, 3, 4) в части теплотехнических параметров, с учётом температурно-климатических воздействий, на примере гражданских зданий Санкт-Петербурга. На первом этапе проведена оценка зданий на предмет наличия теплотехнических дефектов; на втором – инструментальное обследование наружных ограждающих конструкций, включающее тепловизионную съёмку, определение климатических условий наружной среды, параметров микроклимата помещений, регистрацию тепловых потоков и температур. Отдельные результаты тепловизионной съёмки указаны на рис. 3. Оценка полученных результатов показала, что уязвимыми конструктивными элементами в теплотехническом отношении являются: вертикальные поверхности диска перекрытия, оконные переплёты, швы кирпичной кладки и вертикальный деформационный шов. Фиксация температурных полей на поверхности диска перекрытия определялась по заранее выделенной сетке с узловыми точками, расположенными с равномерным шагом 50 и 100 мм со стороны помещения. Выявлено несоответствие требованию СанПиН 1.2.3685-21, предписывающему, что температурный перепад между показаниями внутри помещения и поверхностью перекрытия должен составлять 2 °С.

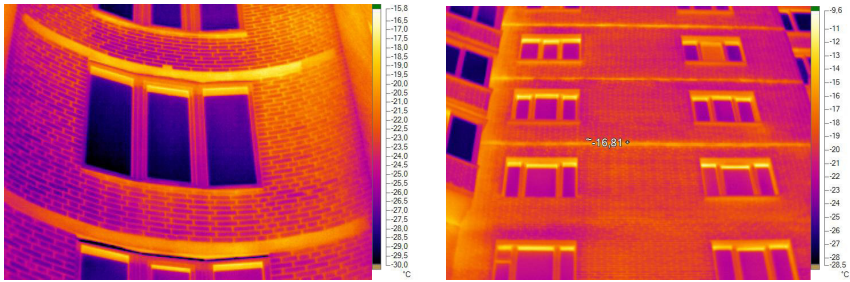


Рисунок 3 – Термограммы фрагментов фасада зданий монолитной конструкции

На рисунке 4 представлен график распределения температурных полей на поверхности диска перекрытия, выполненного по типу-3, с учётом регистрации температур наружного и внутреннего воздуха, значения которых составили минус 5 °С и 19,7°С соответственно. Минимальные температуры в диапазоне от +16,1 °С до 17,7°С зафиксированы на расстоянии до 300 мм от линии сопряжения внутренних граней наружной стены и диска перекрытия

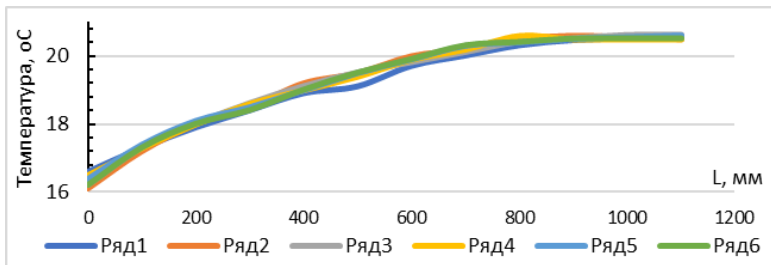


Рисунок 4 – Распределения температур по горизонтальной поверхности диска перекрытия. Тип-3

Анализ эксплуатационных качеств с позиции санитарно-гигиенических требований показал, что зоны пониженных температур внутри обследуемых помещений расположены на горизонтальной поверхности диска перекрытия в диапазоне от 200 до 1100 мм от внутренней грани наружных стен. Выявленные факты несоответствия теплотехнических показателей нормативным требованиям послужили основанием для более детального исследования с помощью математических подходов и численных методов моделирования.

Третья глава посвящена оценке эксплуатационных качеств узлов сопряжения диска перекрытия со стенами, являющихся фрагментом теплозащитной оболочки здания, а также сравнительному анализу результатов моделирования с натурными обследованиями. Для оценки их качеств разработана математическая модель для расчёта температурных полей численными методами в программных комплексах COSMOS/M и ANSYS на основе известных подходов теплопереноса.

При изучении энергоэффективности ограждающих конструкций гражданских зданий интерес представляет установившееся и неизменное во времени температурное поле, которое описывается известным трёхмерным стационарным уравнением теплопроводности. Это уравнение принимает вид (1) при отсутствии внутренних источников тепла:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T(M)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T(M)}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T(M)}{\partial z} \right) = 0, \quad (1)$$

где x, y, z – пространственные координаты; $M = M(x, y, z)$ – точка пространства или среды; $T(M)$ – температура среды; λ – коэффициент теплопроводности среды.

Расчетная схема базового варианта узла, отражающая его геометрические размеры, приведена на рисунке 5.

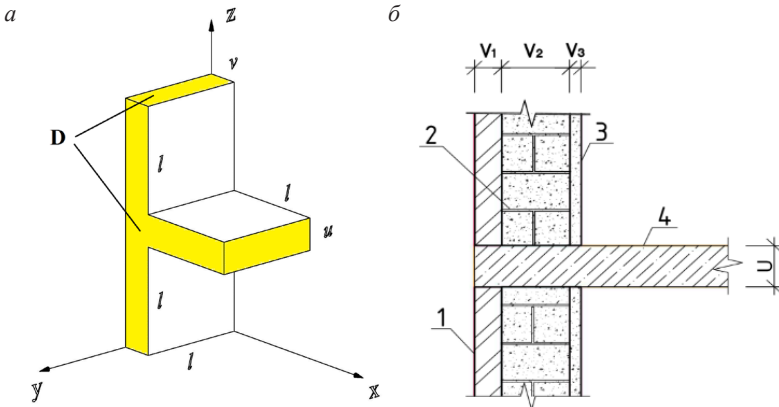


Рисунок 5 – Базовый вариант узла сопряжения диска перекрытия со стеной:

a – трёхмерная расчетная схема; *б* – внутренняя структура узла;

l – лицевой слой кирпичной кладки; 2 – кладка из ячеистого бетона; 3 – внутренний отделочный слой; 4 – железобетонный диск перекрытия

На указанной схеме: D – боковая поверхность узла, l – константа, определяющая размер фрагмента узла; u – толщина диска перекрытия; v – толщина стены, v_1, v_2, v_3 – толщина слоев стены. Пренебрегая незначительными по толщине слоями раствора, входящими в состав стеновой конструкции, выделяем на схеме три материала, имеющие разный коэффициент теплопроводности: кирпичная кладка (λ_1), ячеистый бетон (λ_2) и железобетон (λ_3). Описание температурного поля в узле сопряжения диска перекрытия со стеной выполнено на основе уравнения теплопроводности, с учётом которого формулируется краевая задача, содержащая внешние граничные условия и внутренние (условия сопряжения). Для рассматриваемой расчётной схемы (рисунок 6) условия сопряжения записываются как граничные условия IV-го рода и принимают вид:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \lambda_1 \frac{\partial T_1(M)}{\partial x} = \lambda_2 \frac{\partial T_2(M)}{\partial x}, T_1(M) = T_2(M), \\
 \text{при } x = v_1, y \in [0, l], z \in [0, l] \cup [l + u, 2l + u], \\
 \lambda_2 \frac{\partial T_2(M)}{\partial x} = \lambda_3 \frac{\partial T_3(M)}{\partial x}, T_2(M) = T_3(M), \\
 \text{при } x = v_1 + v_2, y \in [0, l], z \in [0, l] \cup [l + u, 2l + u], \\
 \lambda_1 \frac{\partial T_1(M)}{\partial z} = \lambda_4 \frac{\partial T_4(M)}{\partial z}, T_1(M) = T_4(M), \\
 \text{при } x \in [0, v_1], y \in [0, l], z = l, l + u, \\
 \lambda_2 \frac{\partial T_2(M)}{\partial z} = \lambda_4 \frac{\partial T_4(M)}{\partial z}, T_2(M) = T_4(M), \\
 \text{при } x \in [v_1, v_1 + v_2], y \in [0, l], z = l, l + u, \\
 \lambda_3 \frac{\partial T_3(M)}{\partial z} = \lambda_4 \frac{\partial T_4(M)}{\partial z}, T_3(M) = T_4(M), \\
 \text{при } x \in [v_1 + v_2, v], y \in [0, l], z = l, l + u;
 \end{array} \right. \quad (2)$$

Для изучаемого фрагмента ограждающей конструкции внешние граничные условия включают условия III-го рода, описывающие теплообмен узла сопряжения с окружающей средой (3), и условия II рода, описывающие отсутствие теплообмена через боковые поверхности (4).

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \lambda_1 \frac{\partial T_1(M)}{\partial x} = \alpha_{out1} (T_1(M) - T_{out}), \\
 \text{при } x = 0, y \in [0, l], z \in [0, l] \cup [l + u, 2l + u], \\
 \lambda_4 \frac{\partial T_4(M)}{\partial x} = \alpha_{out4} (T_4(M) - T_{out}), \\
 \text{при } x = 0, y \in [0, l], z \in [l, l + u], \\
 \lambda_3 \frac{\partial T_3(M)}{\partial x} = \alpha_{in3} (T_3(M) - T_{in}), \\
 \text{при } x = v, y \in [0, l], z \in [0, l] \cup [l + u, 2l + u], \\
 \lambda_4 \frac{\partial T_4(M)}{\partial z} = \alpha_{in4} (T_4(M) - T_{in}), \\
 \text{при } x \in [v, v + l], y \in [0, l], z = l, l + u;
 \end{array} \right. \quad (3)$$

$$\lambda_i \frac{\partial T_i(M)}{\partial m} = 0, \text{ при } M \in D_i, i = \overline{1, 4}, \quad (4)$$

где D_i – часть области D (рисунок 6) с теплопроводностью λ_i , причем $D = D_1 \cup D_3 \cup D_4$, m – постоянная координата области D_i .

Уравнение теплопроводности для каждого из слоев будет иметь вид (1), и следовательно, модель будет содержать три уравнения теплопроводности:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_i \frac{\partial T_i(M)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_i \frac{\partial T_i(M)}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_i \frac{\partial T_i(M)}{\partial z} \right) = 0, \quad i = \overline{1,4}. \quad (5)$$

Предлагаемая математическая модель (2)-(5), описывающая распределение температурных полей в базовом варианте узла сопряжения диска перекрытия со стеной, на дальнейших этапах взята за основу для формирования расчётных исследований напряжённо-деформированного состояния (НДС) узлов сопряжения диска перекрытия со стеной, снабжённых перфорацией в программных комплексах COSMOS/2M, ANSYS, реализующих методы конечных элементов.

При этом базовая модель (2)-(5) может быть использована для моделирования более сложных узлов сопряжения диска перекрытия с перфорацией. В этом случае, (см. рис. 6) в целях упрощения вычислений, реальная неоднородная плита перекрытия с перфорацией может быть заменена на однородную с эффективной теплопроводностью. Для определения эффективной теплопроводности λ_{eff} из рассматриваемого фрагмента выделим зоны, ограниченные геометрическими параметрами a и d . Где величины a и d – это границы контакта плоскости выделенного фрагмента теплозащитной оболочки с наружной и внутренней средами, соответственно. Опуская промежуточные вычисления, для рассматриваемого случая определение эффективной теплопроводности выполняется по формуле:

$$\lambda_{eff} = \left[\frac{b}{b+c} \cdot \left(\frac{a_{2f}}{a \cdot \lambda_f} + \frac{a-a_{2f}}{a \cdot \lambda_s} \right)^{-1} + \frac{c}{b+c} \cdot \lambda_s \right], \quad (6)$$

где a – ширина участка плиты, равная толщине наружного стенового ограждения, м; a_{2f} – ширина участка плиты с перфорацией; b – длина перфорации (пустоты), м; c – длина соединительной шпонки, м; λ_s – теплопроводность железобетонной плиты Вт/(м·°С); λ_f – теплопроводность теплоизоляционного материала (термовкладыша) Вт/(м·°С).

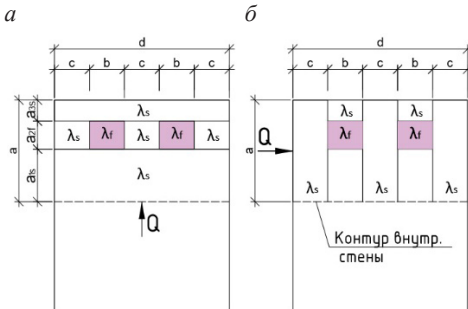


Рисунок 6 – Схема разбивки неоднородного участка ограждающей конструкции на отдельные фрагменты:

a – разбивка параллельно тепловому потоку; b – перпендикулярно тепловому потоку

В рассматриваемом случае под эффективной теплопроводностью понимается теплопроводность виртуальной однородной плиты, которая наделена такими же теплофизическими свойствами, как и реальная. Предложенный способ, описанный формулой 6, позволяет выполнить замену неоднородного участка на однородный и получить осреднённые значения распределения теплового потока для узлов сопряжения диска перекрытия со стеной, снабжённых перфорацией под термовкладыши, и принять их за основу при разработке таблиц с удельными потерями теплоты для расчёта приведённого сопротивления теплопередаче для типов узлов, не вошедших в СП 230.1325800. С учётом математической модели выполнялось моделирование температурных полей конструктивных решений, относящихся к типам 1–4.

Некоторые результаты расчётов сведены в таблицу 1 в виде вычисленных и нормативных значений удельных теплотерь для узлов сопряжения диска перекрытия со стеной.

Таблица 1 – Удельные потери теплоты ψ , Вт/(м \cdot °C) для узла сопряжения диска перекрытия со стеной

| Типы конструктивных решений | Удельные потери теплоты ψ , Вт/(м \cdot °C) 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 ¹ | 0,26 | 0,276 | 0,374 |
| Тип-3 ² | 0,487 | – | 0,487 |
| Тип-4 ³ | 0,138 | – | 0,158 |

Отдельные результаты расчёта показаны на рис. 7 для конструктивного решения, выполненного по типу-2 при температуре наружного воздуха, равной минус 50 °C. В этом случае при температуре внутреннего воздуха 20 °C нормативный температурный перепад, равный 2 °C на поверхности пола, будет достигаться на расстоянии 213,02 мм от внутренней грани сопряжения стены и перекрытия.

¹ Типу-2 соответствует перфорация 2/1. Значение получено по таблицам Г6, Г-7 СП 230.1325800

^{2,3} В существующей редакции СП 230.1325800 данные по таким типам конструктивных решений отсутствуют.

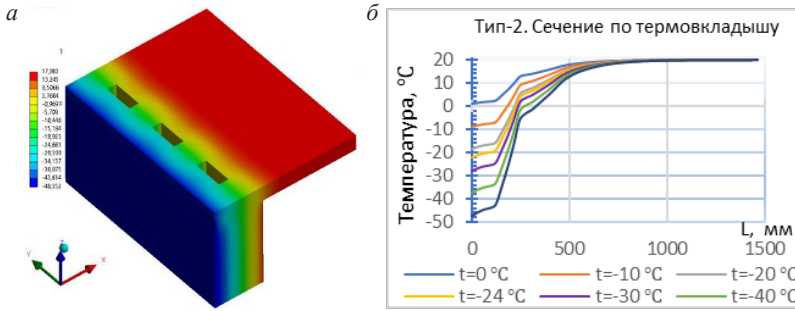


Рисунок 7 – Температурные поля по поверхности диска перекрытия. Тип-2:
 а – температурное поле диска перекрытия, снабжённого перфорацией при $t_{вн} = -50^{\circ}\text{C}$, $t_{вн} = -20^{\circ}\text{C}$; б – график распределения температурных полей по длине диска перекрытия при различных температурах наружного воздуха в сечении по термовкладышу

На следующем этапе проводился сравнительный анализ значений температурных полей, полученных в ходе проведения расчётного эксперимента и натурального обследования (см. рис. 8).

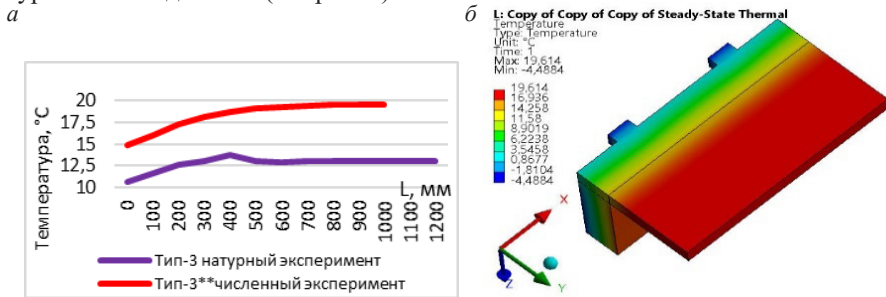


Рисунок 8 – Температурные поля на поверхности диска перекрытия. Тип-3:
 а – сравнительный график результатов численного моделирования с экспериментальными; б – температурное поле диска перекрытия

Выполненные исследования показали, что отличие полученных таким способом результатов расчёта приведённого сопротивления теплопередаче для рассматриваемых типов конструкций отличаются от 1% до 5%, по сравнению с вариантами в которых такая замена не предусматривалась. Для оценки воздействия наружных температур в холодный период года на параметры микроклимата помещений и определения глубины их влияния на температурное поле ограждающих конструкций со стороны внешней среды были заданы температуры в диапазоне от 0 °C до минус 50 °C с шагом, равным 10 °C.

Сопоставительный анализ показал, что температурные кривые в зоне контакта внутренней грани стены и поверхности пола, имеют температурные значения ниже нормативных. Результаты численного моделирования подтверждают несоответствие эксплуатационных качеств в части теплотехнических показателей

нормативным требованиям узлов сопряжения диска перекрытия со стеной, рассматриваемые также на этапе натурального обследования. Ставится вопрос о необходимости дальнейшего изучения возможных опасных последствий эксплуатации таких конструктивных решений с позиции температурно-климатических воздействий на НДС и разработке новых конструктивных решений, позволяющих повысить эксплуатационные качества.

В *четвёртой главе* представлены результаты расчёта НДС узлов сопряжения диска перекрытия со стеной с учётом температурных воздействий. Определена температура замыкания конструкции для условий на примере гражданских зданий Санкт-Петербурга. Вычислены относительные перемещения, нормальные и касательные напряжения для перфорированной плиты с учётом рекомендуемых соотношений a/b (см. СП 230.1325800).

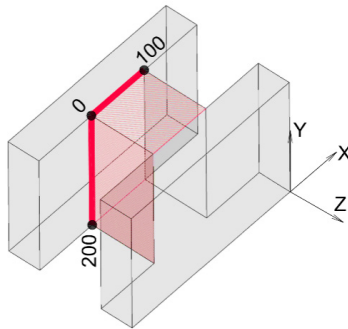


Рисунок 9 – Схема размещения перфорации диска перекрытия

На рисунке 9 представлен фрагмент размещения перфорации в теле диска перекрытия. Исследованы варианты соотношений a/b для диска перекрытия в зоне перфорации с учётом температурных воздействий в комплексе конечно-элементного моделирования ANSYS в твердотельной пространственной постановке, предусматривающей моделирование железобетона как гетерогенного материала, состоящего из арматурных стержней и бетона. Подготовленная к расчёту трёхмерная геометрическая модель являлась параметризованной. Расчёт НДС диска перекрытия, снабжённого перфорацией, выполнялся в два этапа. На первом этапе производился расчёт температурных полей. В качестве граничных условий учитывались температурно-климатические воздействия. Температурные нагрузки, прикладываемые к вертикальным граням торца плиты перекрытия, назначались со следующими параметрами: для вертикальной грани плиты в диапазоне от 0°C до минус 50°C с шагом, равным 10°C со стороны внешней среды, на противоположной грани диска перекрытия температура составила 20°C . На втором этапе результаты вычисленных температурных полей в модуле Steady-State Thermal были инкорпорированы в модуль Static Structural, в котором определялись перемещения, нормальные и касательные напряжения от действия температурных нагруз-

зок. В таблице 2 представлены наиболее характерные результаты полученных перемещений на действие температуры минус 40 °С с учётом рекомендуемых СП 230.1325800 соотношений a/b и фиксированном количестве перфорации.

Таблица 2 – Значения перемещений при различных соотношениях a/b и длине L диска перекрытия с перфорацией при $t_n = -40^\circ\text{C}$

| 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 10 показана диаграмма перемещений диска перекрытия в зависимости от температурных воздействий и соотношений a/b , которая свидетельствует о том, что наибольшие перемещения вдоль оси z наблюдаются при соотношении a/b , равном 500/100, и наружной температуре воздуха, равной минус 40 °С.

Общий характер комплексного расчёта продемонстрирован на рисунке 11 для соотношения a/b , равного 300/100, соответствующий наиболее распространённому варианту, относящийся к типу-2. На первом этапе расчёта (рисунок 11 а) определено, что влияние температурных перепадов приходилось на всю плоскость продольных и поперечных сечений шпонок. На втором, вычислялись продольные перемещения (рисунок 11 б), максимальные значения которых составили 1,042 мм со стороны незаземлённого участка.

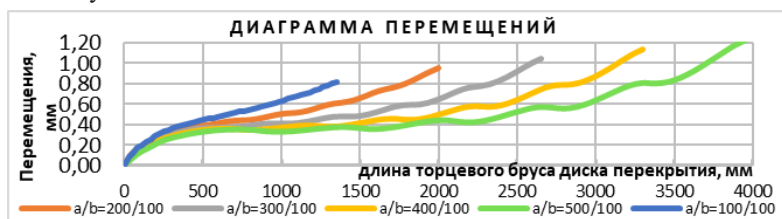


Рисунок 10 – Диаграмма перемещений при температуре -40°C

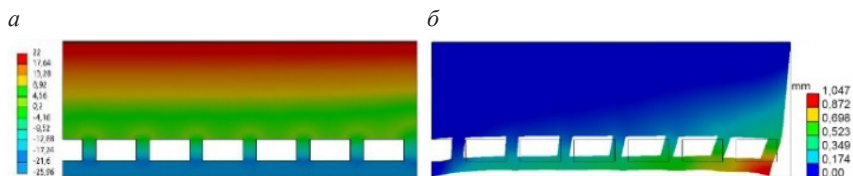


Рисунок 11 – Результаты расчёта фрагмента диска перекрытия в зоне перфорации при $\Delta T = -25,96^\circ\text{C}$, $a = 300$ мм, $b = 100$ мм. Тип-2:

a – распределение температурных полей по плите; b – изополе перемещений (мм) вдоль торцевого бруса диска перекрытия

Рассмотрены нормальные и касательные напряжения с учётом температурных воздействий на конструкцию в холодный период года при различных соотношениях a/b . Отдельные результаты представлены на рисунке 12 в виде эпюр нормальных напряжений σ_z для сечений 2-2/8-8, 6-6/8-8, проходящих по толщине перекрытия через шпонки в поперечном и продольном направлениях.

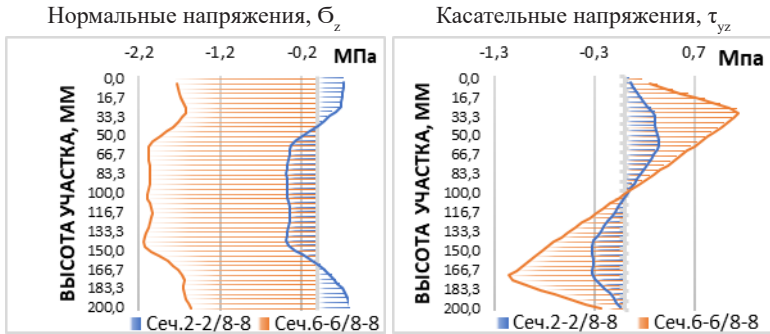


Рисунок 12 – Нормальные σ_z и касательные τ_{yz} напряжения для сечений в поперечном направлении при температуре замыкания в холодный период года $\Delta t_c = -26,27^\circ\text{C}$, $\Delta t_w = 20,13^\circ\text{C}$ для соотношения $a/b = 500/100$

Полученные значения сравнивались с расчётным сопротивлением растяжению $R_{bt} = 0,81$ МПа для бетона класса В20 в соответствии с СП 63.13330.2018. Фрагмент узла сопряжения диска перекрытия со стеной исследовался для периода с отрицательными температурами наружного воздуха, что для условий С-Петербурга соответствует температуре замыкания конструкции, равной минус $26,27^\circ\text{C}$ и $20,13^\circ\text{C}$ при эксплуатации в зимнее время. Для участка, расположенного в зоне сечений 2-2/8-8, характер изменений нормальных σ_z и касательных τ_{yz} напряжений является знакопеременным и находится в диапазоне от $0,7$ до $-2,1$ МПа. Многолетний режим эксплуатации при таких температурно-климатических воздействиях является основным дестабилизирующим фактором, показывающим, что наиболее уязвимыми элементами диска перекрытия являются шпонки и торцевой брус. В случае многоциклового воздействия пониженных температур на отопляемые здания возникает усадка бетона в стенах и перекрытиях. Оказываемое на боковые вертикальные поверхности шпонок изменение температуры и влажности по сечениям элемента имеет резко неравномерный характер. С учётом того, что торцы диска перекрытия являются уязвимым местом, в случае их открытого расположения вертикальная плоскость на контакте с внешней средой зачастую подвергается критическому воздействию атмосферных осадков. Это приводит к заполнению капилляров и пор в теле бетона влагой, а с учётом воздействия пониженных температур на торцевой брус, работающий под нагрузкой, возникают объёмные деформации, приводящие со временем к деструкции бетонного камня и коррозии арматурных стержней.

Анализ показал, что дальнейшая эксплуатация монолитных зданий, в состав которых входят диски перекрытий с перфорацией, со временем может привести к ава-

рийным ситуациям и спровоцировать прогрессирующее обрушение. Таким образом, необходимо совершенствовать конструктивные решения, применяемые в современной практике строительства, и разработать новые.

В *пятой главе* предлагается усовершенствовать существующие конструктивные решения и разработать новые. Пример практической реализации усовершенствованного конструктивного решения (вариант 1), включённый в состав РМД 51-25-2018 см. на рис. 13.

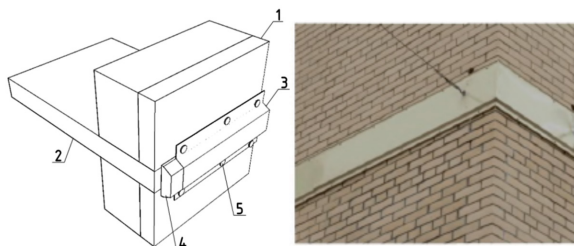


Рисунок 13 – Устройство для утепления наружной стены здания. Вариант 1:

1 – наружный слой стены; 2 – железобетонный диск перекрытия; 3 – трапециевидный кожух; 4 – теплоизоляционный материал; 5 – крепёжные изделия

На рисунке 14 показаны новые решения устройства для утепления наружной стены здания (вариант 2). Для обоснования предлагаемых решений выполнены численные исследования, включающие расчёты температурных полей и относительных деформаций НДС, отдельные результаты см. рис. 15.

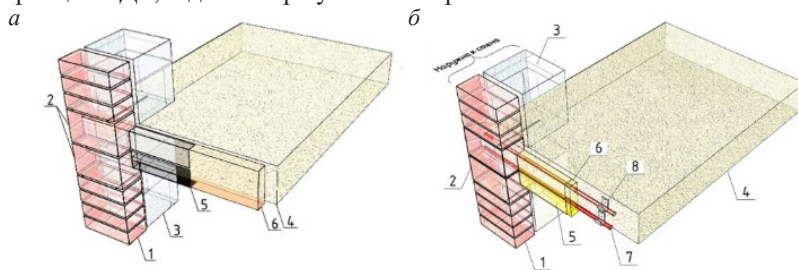


Рисунок 14 – Устройство для утепления наружной стены здания. Вариант 2:

а – Г-образные элементы со слоем отражательной изоляции и теплоизоляционного материала; б – Г-образные элементы, включающие слой отражательной изоляции, теплоизоляционный материал и саморегулируемые электронагревательные кабели; 1 – наружный слой стены; 2 – слой стены, содержащий Г-образные (П-образные) элементы; 3 – слой из ячеистого бетона; 4 – железобетонный диск перекрытия; 5 – отражательный слой изоляции; 6 – теплоизоляционный материал; 7 – саморегулируемый электронагревательный кабель; 8 – элемент крепления

Осреднённая температура со стороны торца диска перекрытия (см. рис. 15 б) принималась равной минус 15,813 °С, полученной на предыдущем этапе – расчёте температурных полей.

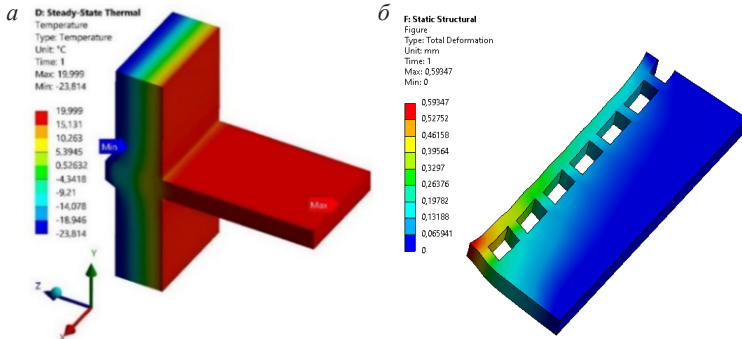


Рисунок 15 – Результаты расчёта фрагмента диска перекрытия при соотношении $a/b = 300/100$. Вариант 1:

α – расчёт температурных полей; β – расчёт относительных деформаций

Обоснование применения предлагаемых вариантов рассматривалось с позиции обеспечения требуемых теплотехнических качеств и безопасных условий эксплуатации. Предлагаемые конструктивные решения могут быть широко использованы в строительной практике, как на стадии проектирования новых зданий, возводимых по монолитной технологии, так и в случае их модернизации, включённых в региональные программы реновации зданий.

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 натуральных условиях;
- 3) разработана универсальная математическая модель теплопереноса для расчёта трёхмерных температурных полей в узлах сопряжения диска перекрытия со стенами, 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 дисков перекрытий со стенами;
- 5) предложен инженерный способ определения эффективной теплопроводности перфорированного участка диска перекрытия и показана результативность его

использования при вычислении теплотехнических показателей: показатели рассчитанные с применением эффективной теплопроводности отличаются от показателей вычисленных по нормативной методике 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°C до минус 50°C, 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/(м²·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.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Статьи, опубликованные в научных журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки РФ:

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.: Лада. – 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.: Лада. – 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.

Публикации в научных изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus:

7. Belash T. A. Energy Efficient Wall Enclosing Structures / T. A. Belash, **A. V. Kuznetsov** // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vladivostok– Vladivostok: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 032052. – DOI 10.1088/1757-899X/463/3/032052.

8. **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 Trans Siberia - 2021, Novosibirsk/ Editors: Aleksey Manakov, Arkadii Edigarian. – Novosibirsk: Springer Nature Switzerland AG, 2022. – P. 799-807. – DOI 10.1007/978-3-030-96380-4_87.

Патенты, базы данных и программы для ЭВМ, имеющие госрегистрацию:

9. 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».

10. 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».

11. 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».

12. 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».

13. 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».

14. 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».

15. 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».

16. 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».

17. 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».

18. 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.

Компьютерная верстка *В. С. Весниной*

Подписано к печати 18.11.2022. Формат 60×84 ¹/₁₆, Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 1,3. Тираж 120 экз. Заказ 137.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.

190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.