

На правах рукописи

Добшиц Виктор Львович

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДАЮЩИЕ
КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ ПРИ НАЛИЧИИ ТРЕЩИН**

2.1.1 – Строительные конструкции, здания и сооружения

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2026

Работа выполнена на кафедре технологий строительства и конструкционных материалов инженерной академии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН).

Научный **Зубарев Кирилл Павлович**

руководитель: кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий строительства и конструкционных материалов инженерной академии ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

Официальные **Чепурненко Антон Сергеевич**

оппоненты: доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Строительная механика и теория сооружений» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

Синицин Дмитрий Александрович

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Ведущая ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический
организация: университет»

Защита диссертации состоится 20.11.2026 г. на заседании диссертационного совета ПДС 2022.015 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН) по адресу: г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РУДН и на сайте <https://www.rudn.ru/science/dissovet>.

Электронная версия автореферата и объявление о защите диссертации размещены на официальном сайте РУДН: <https://www.rudn.ru/science/dissovet> и отправлены для размещения на официальном сайте ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ по адресу: <https://vak.gisnauka.ru/>

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2026 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета ПДС 2022.015

кандидат технических наук, доцент

Виноградова Е.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Трещины и повреждения влияют на энергосбережение здания. Энергосбережение и ресурсосбережение являются ключевыми направлениями в развитии строительной отрасли.

Совершенствование расчета теплопередачи стен зданий при наличии трещин является актуальной задачей, т.к. может уточнить энергопотребление зданий.

Степень разработанности темы исследования.

Трещины в ограждающих конструкциях зданий являются мультидисциплинарной проблемой, охватывающей различные научные сферы. Ведутся работы по созданию новых инъекционных растворов, проводятся исследования их характеристик, разрабатываются методы ремонта поврежденных участков зданий и их инъектирования, проводится анализ и построение моделей поврежденных объектов.

В области разработки новых инъекционных растворов большой вклад внесли Естафьев Н.Ю., Шубин Н.Е., Харченко А.И., Ситников А.М., Ветюгов А.В., Балицкий Д.А., Sun N. и др. Исследованиями характеристик инъекционных растворов занимались Быков А.А., Грановский А.В., Baltazar L.G., Chuang P.M., O.J. Oladiran, Kim T.K. и Park J.S. и др. Развитием методов ремонта зданий при трещинах и способам инъектирования повреждений занимались следующие ученые Жадановский Б.В., Еремеев П.В., Сокова С.Д., Смирнова Н.В., Горелов А.В., Ледина М.В., Чубатов И.В., Кобидзе Т.Е. и др.

Наибольший интерес представляют исследования влияния трещин и дефектов оболочки здания на его температурное поле.

Одним из значимых направлений исследований ограждающих конструкций зданий при трещинах являются исследования влияния трещин на температурное поле зданий. Данной проблематикой занимаются Русанов А.Е., Кузнецов А.В., Плотников А.А., и Шаумаров С.С. и др. Исследования ученых в основном сконцентрированы на определении влияния того или иного дефекта на энергосбережение, класс энергетической эффективности, значение температуры или проходящего через конструкцию теплового потока до его устранения. Влияние инъекционных растворов и пакеров на температурное поле ограждающей конструкции здания после проведения ремонта мало изучено. Данное обстоятельство, обосновывает дальнейшие исследования: исследовать задачу теплопроводности стенах зданий при наличии трещин, провести математическое моделирование и экспериментальную верификацию полученных данных, что предпринято в настоящей работе.

Цель исследования.

Разработка уточняющего метода расчета температурных полей при трещинах в ограждающих конструкциях стен зданий.

Задачи исследования.

1. Проведение обзора литературы по экспериментальным и расчетным способам определения температурного поля узлов ограждающих конструкций зданий;
2. Проведение математического моделирования температурных полей узлов ограждающих конструкций зданий с трещинами и пакерами, заполненными инъекционным раствором;
3. Разработка номограмм, позволяющих графически определять удельные потери теплоты через трещины и пакеры, заполненные инъекционным раствором, путем объединения массива результатов математического моделирования температурных полей узлов стен зданий, содержащих трещины и пакеры.
4. Разработка нового экспериментального устройства по определению удельных потерь теплоты стен зданий с трещинами, заполненными инъекционным раствором;
5. Проведение экспериментов на новом устройстве для верификации результатов математического моделирования узлов ограждающих конструкций зданий с трещинами, заполненными инъекционным раствором.
6. Разработка уточненной инженерной методики расчета приведенного сопротивления теплопередаче стен зданий, учитывающей трещины и пакеры, заполненные инъекционным раствором.

Объект исследования.

Стены зданий с трещинами.

Предмет исследования.

Метод расчета температурного поля стен зданий при трещинах

Научная новизна.

1. Разработаны номограммы для определения удельных потерь теплоты через трещины стен здания и пакеры, заполненные инъекционным раствором, на основании исследований температурного поля.
2. Предложен экспериментальный подход по определению потерь теплоты через трещины здания, заполненные инъекционным раствором;
3. Установлено, что для основания стен зданий из кладки из пенобетона и кладки из кирпича инъекционный раствор снижает приведенное сопротивление теплопередаче, а для стен зданий из железобетона – увеличивает.

Теоретическая значимость исследования.

Сконструированное экспериментальное устройство для определения удельных потерь теплоты через трещины здания, заполненные инъекционным раствором, может использоваться для различных образцов стен зданий из разных строительных материалов с различными трещинами.

Разработанные номограммы для расчета удельных потерь теплоты через трещины и пакеры стен здания, заполненные инъекционным раствором, могут использоваться для расчета различных типов стен зданий с трещинами.

Практическая значимость исследования.

Сконструированное экспериментальное устройство может использоваться исследовательскими лабораториями для определения удельных потерь теплоты через трещины стен зданий.

Разработанные номограммы для расчета удельных потерь теплоты через трещины и пакеры стен здания, заполненные инъекционным раствором, могут использоваться инженерами проектировщиками для расчета приведенного сопротивления теплопередаче.

Методология и методы исследования.

В теоретической части работы применен: метод конечных элементов для математического моделирования температурных полей зданий при трещинах.

В экспериментальной части исследования при статистической обработке экспериментальных данных применялся критерий Шапиро-Улика для проверки нормальности распределения. Для оценки влияния трещины на удельные потери теплоты использовался парный критерий Стьюдента. Отличия считались статистически значимыми при p -уровне значимости $p < 0,05$.

Положения, выносимые на защиту.

1. Результаты математического моделирования температурных полей при трещинах в стенах зданий и пакерах, заполненных инъекционным раствором, позволяющие определять удельные потери теплоты через отремонтированные узлы ограждающих конструкций в зависимости от ширины раскрытия и глубины трещин, а также от диаметров и глубины установки пакеров.

2. Экспериментальный подход по определению удельных потерь теплоты через трещину стены здания, заполненную инъекционным раствором, позволяющий верифицировать результаты расчета температурных полей ограждающих конструкций зданий.

3. Уточненная методика расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций стен зданий при трещинах.

Степень достоверности результатов.

Достоверность результатов математического моделирования обосновывается использованием фундаментального физического уравнения теплопроводности и его численным решением с помощью метода конечных элементов.

Достоверность результатов экспериментального определения удельных потерь теплоты через стены здания при трещинах, заполненных инъекционным раствором, достигается применением поверенного измерительного оборудования, статистической обработкой данных и воспроизводимостью результатов при повторных измерениях.

Апробация результатов.

Положения и результаты работы были доложены и обсуждены на конференциях:

1. II Международная научная конференция «Civil, Industrial and Urban Construction - 2025». (Санкт-Петербург, СПбПУ 2025 г.)

2. XVIII Международная научно-практическая конференция «Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса», секция зеленое

строительство (конференция «ИНТЕРАГРО 2025»). (Ростов-на-Дону, ДГТУ 2025 г.).

3. XIX Международная научно-практическая конференция «Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса», секция зеленое строительство (конференция «ИНТЕРАГРО 2026»). (Ростов-на-Дону, ДГТУ 2026 г.).

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 19 печатных работ, в том числе 14 – в рецензируемых журналах из «Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук», получено 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, 1 патент России на изобретение.

Внедрения результатов.

Результаты настоящей работы внедрены в деятельность исследовательской лаборатории с построением экспериментального устройства и проведением на нем экспериментальных исследований для определения удельных потерь теплоты через трещины стен зданий, заполненные инъекционным раствором (справка о внедрении ООО «Строймат и К» от 01.06.2026 г.), а также в проектирование и строительство здания лесопилорамы (г. Подольск) с уточнением толщины теплоизоляционного слоя на основании расчета приведенного сопротивления теплопередаче с применением, разработанных в настоящем диссертационном исследовании, номограмм удельных потерь теплоты через трещины и пакеры, заполненные инъекционным раствором (справка ООО «Центр содействия строительству» от 03.06.2026 г.).

Личный вклад автора.

Личный вклад автора заключается в самостоятельном получении расчетных и экспериментальных результатов, представленных в диссертации, проведения обзора литературы по исследуемой теме, формулировке актуальности, цели, задач исследования, методов, методологии, научной новизны и положений, выносимых на защиту. Автор самостоятельно выполнил основную часть работы. Проведено математическое моделирование температурного поля стен зданий при трещинах и пакерах, заполненных инъекционным раствором. Результаты математического моделирования сведены в разработанные в диссертационном исследовании номограммы. Проведена верификация результатов расчетов с помощью экспериментов по определению удельных потерь теплоты через стены зданий при трещинах, заполненных инъекционным раствором, с разработкой и использованием нового экспериментального устройства. Проведен анализ полученных результатов, сформулированы практические рекомендации, перспективы дальнейшей разработки темы диссертации, подготовлены публикации, проведена апробация результатов исследования и оформлена диссертация.

Соответствие паспорту специальности.

Диссертационное исследование соответствует паспорту специальности 2.1.1 – Строительные конструкции, здания и сооружения: п. № 5 – Обоснование технических решений по реконструкции, усилению и восстановлению элементов и конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений; п. № 9 – Разработка и развитие теоретических основ и методов расчёта ограждающих конструкций зданий и сооружений с учётом природноклиматических, теплофизических, светотехнических, акустических и иных условий.

Структура и объем работы.

Диссертация изложена на 153 страницах машинописного текста и состоит из: оглавления, введения, 5 глав, заключения, списка литературы, включающего 136 источников: 97 на русском языке и 39 на иностранных языках, приложений. Работа иллюстрирована 16 таблицами, 38 рисунками.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи исследования, теоретическая и практическая значимость исследования, научная новизна, положения, выносимые на защиту.

В **первой** главе рассмотрена общая проблематика исследований температурного поля ограждающих конструкций зданий при повреждениях и теплотехнических неоднородностях. Описаны различные направления исследований в области инъектирования ограждающих конструкций зданий при трещинах. Проведен анализ методов расчета температурных полей ограждающих конструкций зданий при наличии теплотехнических неоднородностей. Изучены существующие работы по оценке влияния дефектов стен зданий на их тепловую защиту. Проведен анализ экспериментальных подходов по определению сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий.

Во **второй** главе проведено математическое моделирование температурных полей стен зданий с трещинами, заполненными инъекционным раствором.

Предложено трещины стен зданий, заполненные инъекционным раствором, рассматривать как линейные теплотехнические неоднородности и исследовать их с помощью двумерного температурного поля.

Для математического моделирования температурного поля трещины стены здания использовано дифференциальное уравнение стационарной теплопроводности в двумерной постановке:

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right) = 0. \quad (1)$$

где λ – теплопроводность, Вт/(м·°С); t – температура, °С; x и y – координаты, м.

Проиллюстрирована схема отремонтированного узла стены здания с указанием пространственной области решения и граничных условий (рисунок 1).

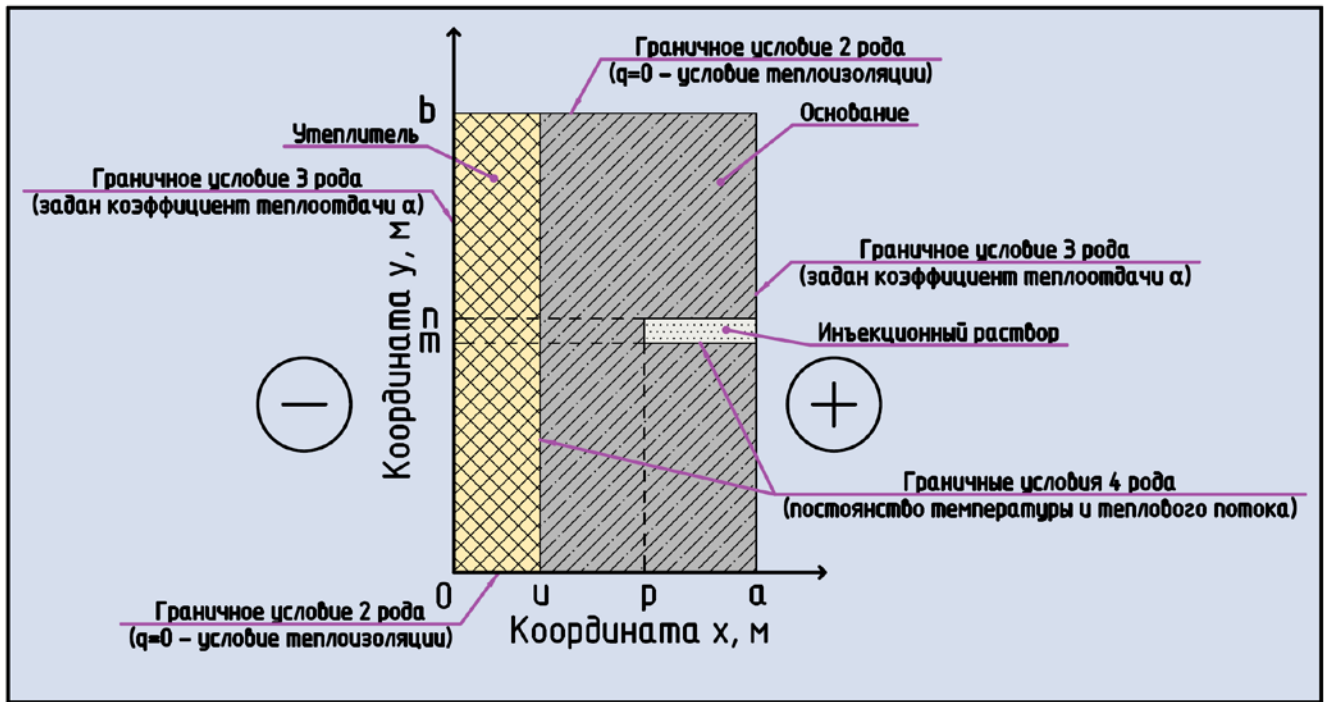


Рисунок 1. Схема отремонтированного узла стены здания с указанием пространственной области решения и граничных условий.

На краях ограждающей конструкции, контактирующих с воздухом, задаются граничные условия третьего рода, описывающие теплообмен между воздухом и ограждающей конструкцией. На границах стены, определяющих конец рассчитываемой модели, использовались граничные условия второго рода, задающие условия теплоизоляции. Между различными материалами (стык утеплителя и основания, стык инъекционного раствора и основания) применялись граничные условия 4 рода, характеризующие равенство температуры и теплового потока на стыке слоев. Для решения дифференциального уравнения теплопроводности применялся метод конечных элементов. Математическое моделирование температурных полей стен зданий с трещинами производилось в программном комплексе Ansys Workbench.

Удельные потери теплоты через трещину стены здания, заполненную инъекционным раствором, вычислялись по формуле:

$$\psi_{\text{трещины}} = \frac{q_{\text{с трещиной}}^L - q_{\text{без трещины}}^L}{\Delta t}. \quad (2)$$

где $\psi_{\text{трещины}}$ – удельные потери теплоты через трещину стены здания, заполненную инъекционным раствором, Вт/(м·°C); $q_{\text{с трещиной}}^L$ – линейная плотность теплового потока, проходящая через рассчитываемый фрагмент стены здания с трещиной, заполненной инъекционным раствором, Вт/м; $q_{\text{без трещины}}^L$ – линейная плотность теплового потока, проходящая через рассчитываемый фрагмент стены здания без трещины, Вт/м; Δt – разность температур по разные стороны рассчитываемого фрагмента стены здания, °C.

Представлены результаты математического моделирования температурного поля стен зданий из пенобетона толщиной 0,2 м со сквозной трещиной, заполненной инъекционным раствором, при ширине раскрытия трещины 10 мм в варианте без утеплителя (рисунок 2а) и с утеплителем (рисунок 2б).

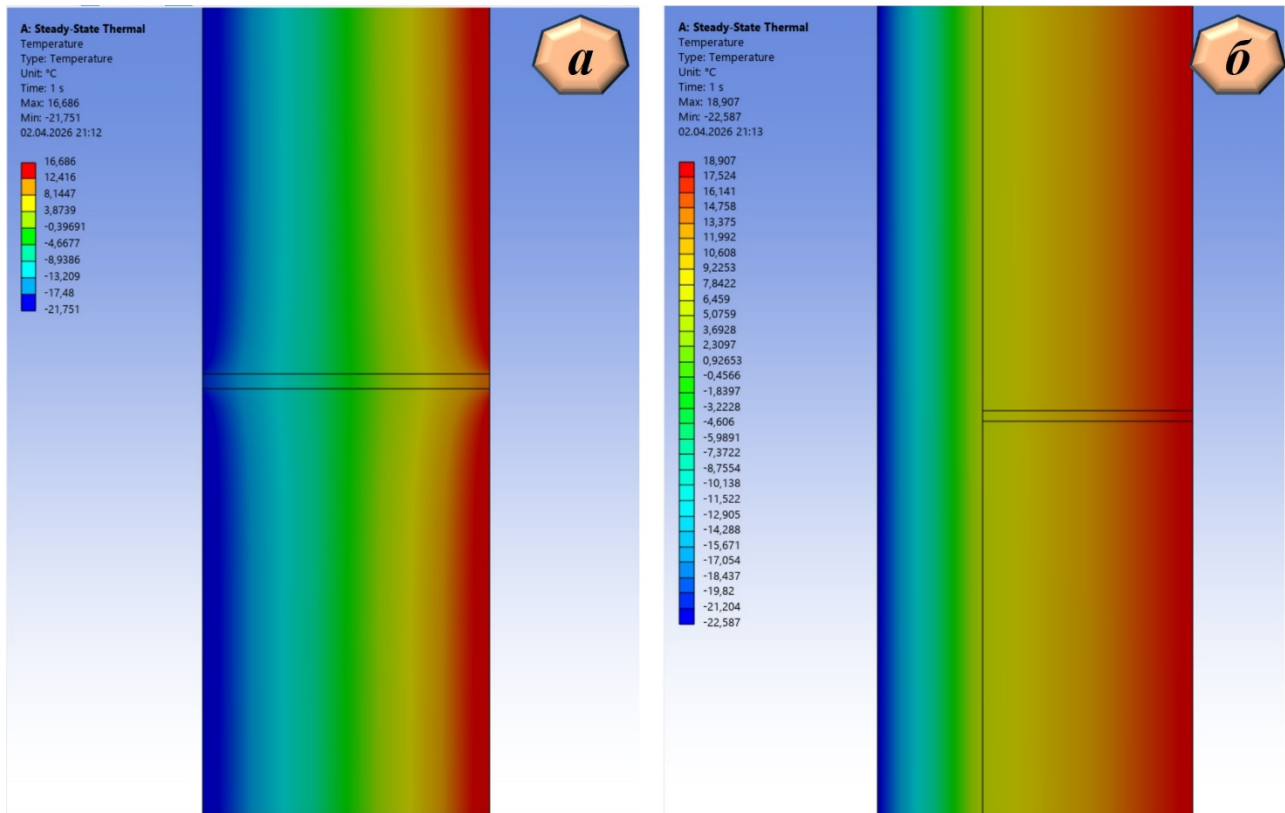


Рисунок 2. Результаты математического моделирования температурного поля стен зданий из пенобетона толщиной 0,2 м со сквозной трещиной, заполненной инъекционным раствором, при ширине раскрытия трещины 10 мм (а – однослойная стена здания без утеплителя; б – стена, утепленная 0,1 м минеральной ваты).

Из рисунка 2 видно, что инъекционный раствор, который вводится в трещину стены здания при ремонте, искажает поле температуры, нарушает равномерность изотерм вблизи трещины.

Проведена разработка номограмм удельных потерь теплоты для трещин в стенах здания, заполненных инъекционным раствором, по результатам математического моделирования температурных полей (рисунок 3).

На оси абсцисс номограмм для определения удельных потерь теплоты через трещины в стенах здания, заполненные инъекционным раствором отложена ширина раскрытия трещины, по оси ординат – удельные потери теплоты через трещину, цифры от 1 до 11 иллюстрируют варианты глубины трещины от 1 мм до 380 мм соответственно. Разработанные номограммы позволяют определять величину удельных потерь теплоты через различные стены здания, выполненные из разных материалов, при разных геометрических размерах трещины упрощенно графически без построения температурных полей.

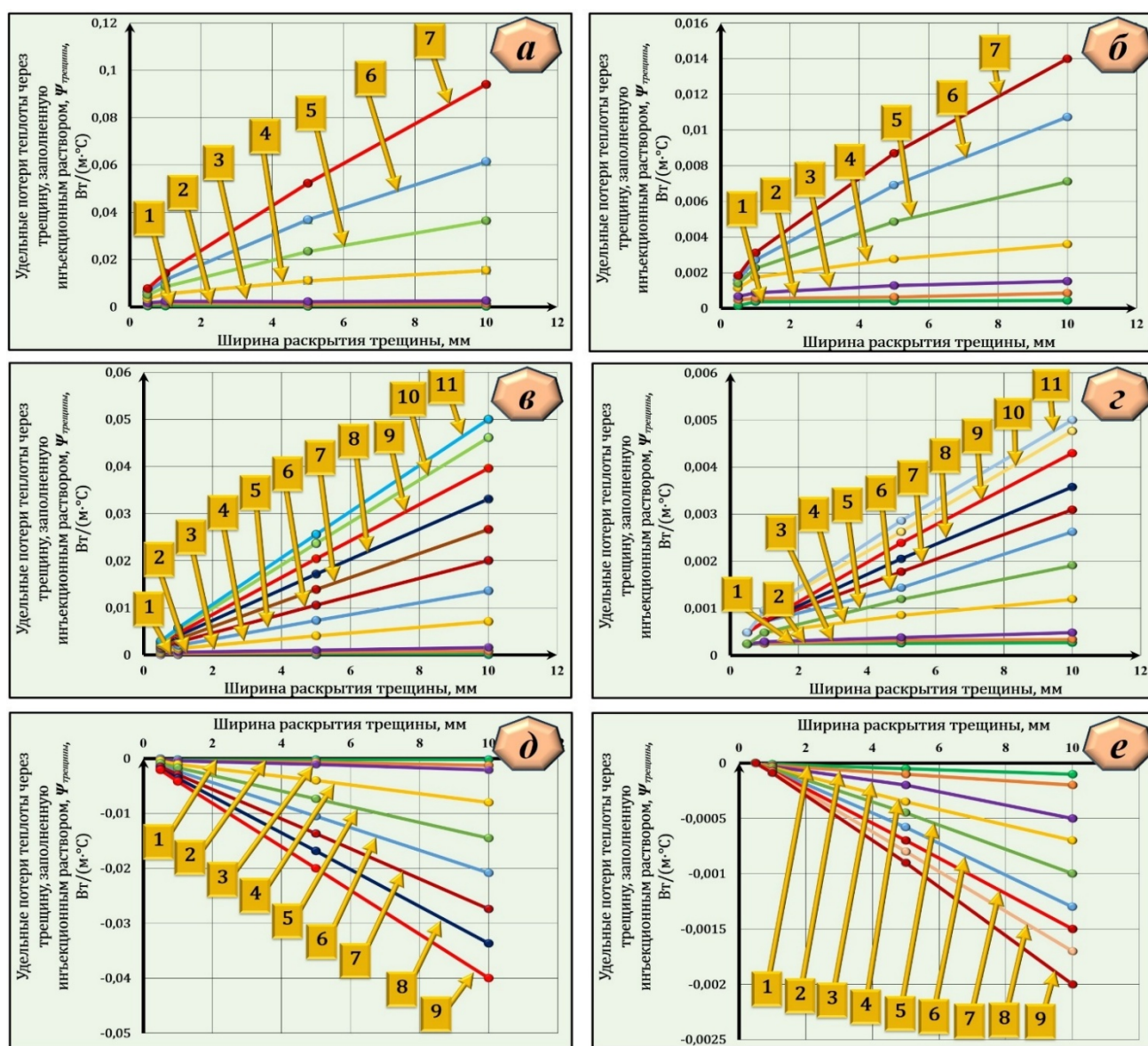


Рисунок 3. Номограммы для определения удельных потерь теплоты через трещины в стенах здания, заполненные инъекционным раствором, (а – пенобетон толщиной 0,2 м; б – пенобетон толщиной 0,2 м с утеплителем толщиной 0,1 м; в – кирпич толщиной 0,38 м; г – кирпич толщиной 0,38 м с утеплителем толщиной 0,1 м; д – железобетон толщиной 0,3 м; е – железобетон толщиной 0,3 м с утеплителем толщиной 0,1 м; цифрами обозначены варианты глубины трещины: 1 – 1 мм; 2 – 5 мм; 3 – 10 мм; 4 – 50 мм; 5 – 100 мм; 6 – 150 мм; 7 – 200 мм; 8 – 250; 9 – 300 мм; 10 – 350 мм; 11 – 380 мм).

В третьей главе проведено математическое моделирование температурных полей стен зданий с установленными в них пакерами, заполненными инъекционным раствором. Предложено пакеры, установленные в стене здания, рассматривать как точечные теплотехнические неоднородности и исследовать их с помощью трехмерного температурного поля.

Для математического моделирования температурного поля стены здания с установленным в ней пакером использовано дифференциальное уравнение стационарной теплопроводности в трехмерной постановке:

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) = 0. \quad (3)$$

где z – координата, м.

Проиллюстрирована схема узла стены здания с установленным в ней пакером с указанием пространственной области решения и граничных условий (рисунок 4).

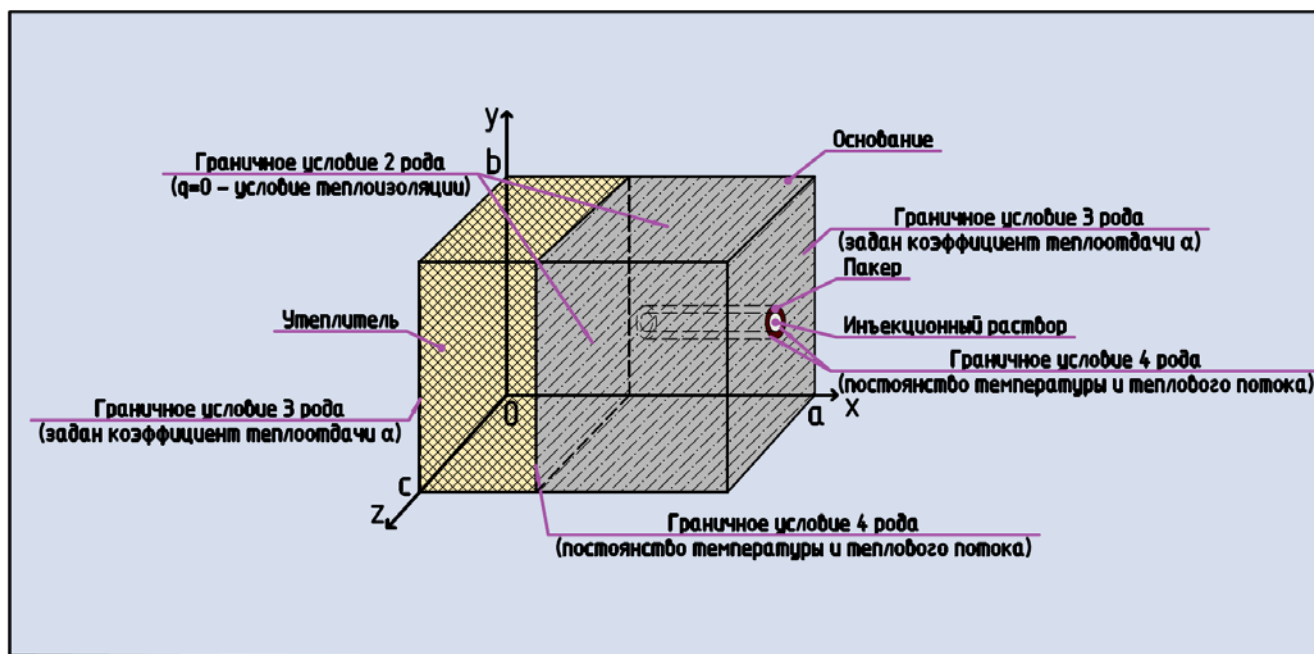


Рисунок 4. Схема узла стены здания с установленным в нем пакером с указанием пространственной области решения и граничных условий.

На границах между стеной и воздухом задаются граничные условия третьего рода, описывающие теплообмен между воздухом и стеной. На остальных гранях стены используются граничные условия второго рода, задающие условия теплоизоляции. Между материалами различных слоев (между утеплителем и основанием, между пакером и стеной, между пакером и инъекционным раствором) используются граничные условия четвертого рода, описывающие равенство температур и теплового потока в точках соприкосновения различных материалов.

Удельные потери теплоты через пакер, установленный в стене здания, заполненный инъекционным раствором, вычислялись по формуле:

$$\chi_{\text{пакера}} = \frac{Q_{\text{с пакером}} - Q_{\text{без пакера}}}{\Delta t}. \quad (4)$$

где $\chi_{\text{пакера}}$ – удельные потери теплоты через пакер, установленный в стене здания, заполненный инъекционным раствором, Вт/°C; $Q_{\text{с пакером}}$ – тепловой поток, проходящий через рассчитываемый фрагмент стены здания с установленным в нем пакером, заполненным инъекционным раствором, Вт; $Q_{\text{без пакера}}$ – тепловой поток, проходящий через рассчитываемый фрагмент стены здания без пакера, Вт.

Представлены результаты математического моделирования температурного поля для стен зданий из пенобетона толщиной 0,2 м с установленными пакерами на глубину 0,15 м в вариантах без утеплителя (рисунки 5а и 5в) и с утеплителем (рисунки 5б и 5г). Для большей наглядности из компьютерной модели после проведения расчетов была извлечена четверть узла по оси пакера. Расчет велся для всей модели (четверть узла была извлечена после проведения расчетов).

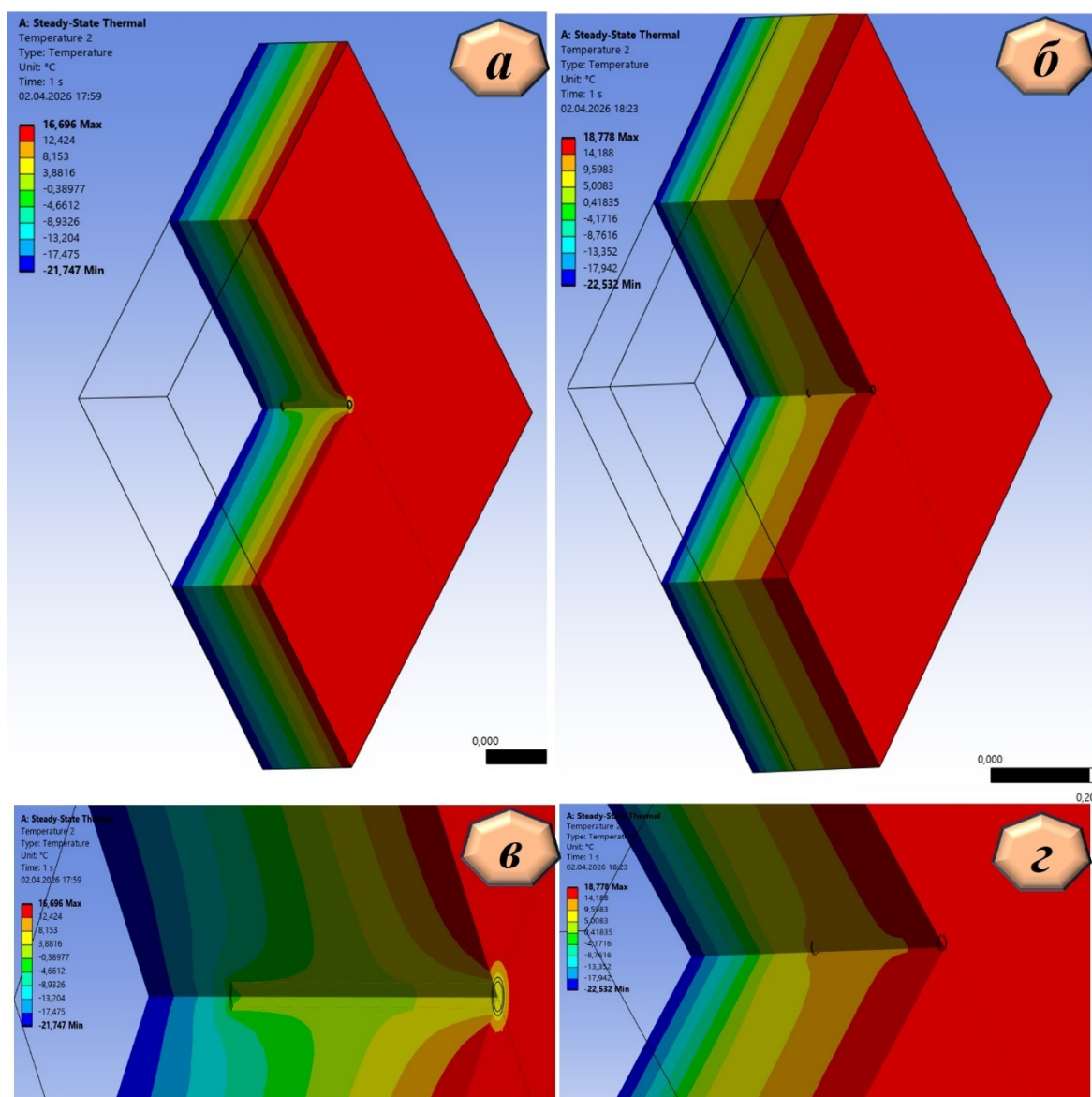


Рисунок 5. Результаты математического моделирования температурного поля для стен зданий из пенобетона толщиной 0,2 м с установленными пакерами на глубину 0,15 м. Для большей наглядности из компьютерной модели после проведения расчетов была извлечена четверть узла по оси пакера (а – однослойная стена здания без утеплителя с установленным пакером; б – стена здания, утепленная 0,1 м минеральной ваты; в – фрагмент модели однослойной стены здания без утеплителя с установленным пакером; г – фрагмент модели стены здания, утепленной 0,1 м минеральной ваты).

Представлены номограммы для определения удельных потерь теплоты через установленные в стенах здания пакеры, заполненные инъекционным раствором (рисунок 6).

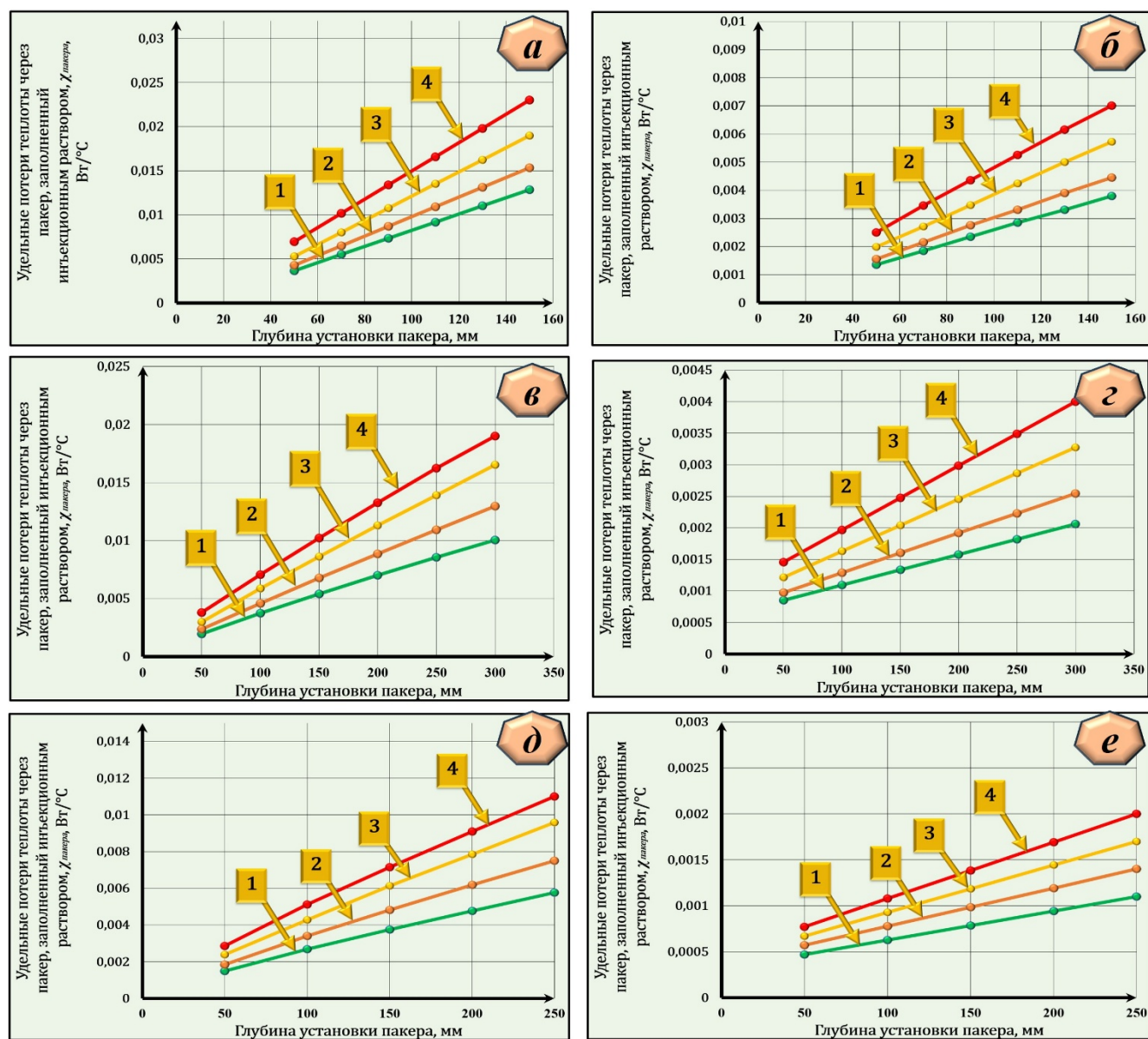


Рисунок 6. Номограммы для определения удельных потерь теплоты через установленные в стенах зданий пакеры, заполненные инъекционным раствором (а – пенобетон толщиной 0,2 м; б – пенобетон толщиной 0,2 м с утеплителем толщиной 0,1 м; в – кирпич толщиной 0,38 м; г – кирпич толщиной 0,38 м с утеплителем толщиной 0,1 м; д – железобетон толщиной 0,3 м; е – железобетон толщиной 0,3 м с утеплителем толщиной 0,1 м; цифрами обозначены варианты диаметра пакера: 1 – 10 мм; 2 – 13 мм; 3 – 16 мм; 4 – 18 мм).

Номограммы позволяют определять величину удельных потерь теплоты через пакеры, установленные в различных стенах здания, выполненные из разных материалов, при разных диаметрах и глубинах установки пакеров упрощенно графически без построения температурных полей.

В **четвертой** главе произведена разработка экспериментального устройства для определения удельных потерь теплоты, вызванных трещинами стен зданий, и верификации результатов математического по определению удельных потерь теплоты через трещины стен зданий.

Было разработано экспериментальное устройство для определения удельных потерь теплоты, вызванных трещинами стен зданий.

Экспериментальное устройство представляет собой П-образный короб с утепленными стенками. Одна из стенок которого содержит окно, в котором устанавливается исследуемый образец стены здания. Внутри короба размещают нагревательный элемент. В устройстве предусмотрено размещение датчиков, которые в автоматическом режиме регистрируют температуру воздуха снаружи испытательной установки, температуру воздуха внутри испытательной установки, температуры на наружной и внутренних поверхностях испытуемого образца стены здания и тепловой поток, проходящий через испытуемый образец.

Представлена схема экспериментального устройства с установленным испытуемым образцом стены здания (рисунок 7).

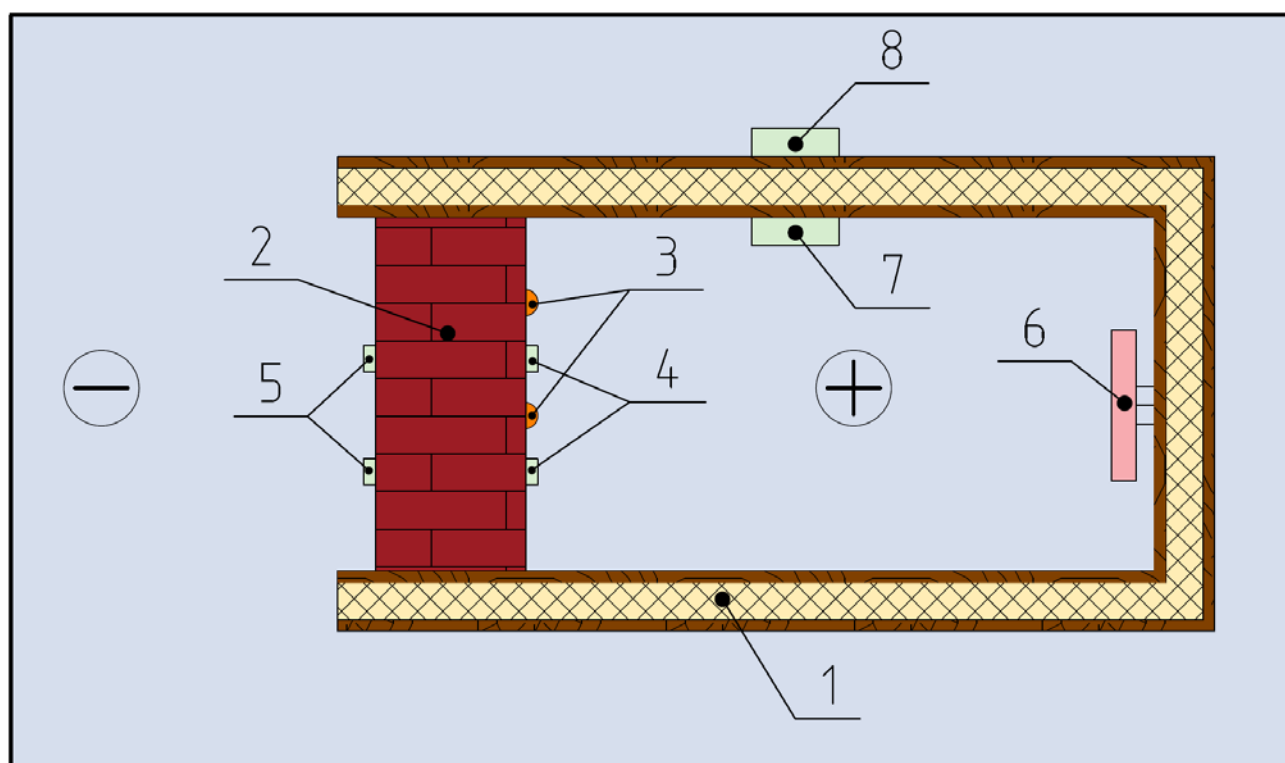


Рисунок 7. Схема экспериментального устройства с установленным испытуемым образцом стены здания (1 – короб с утепленными стенками; 2 – испытуемый образец; 3 – датчики поверхностной плотности теплового потока; 4 – датчики температуры внутренней поверхности стены; 5 – датчики температуры наружной поверхности стены; 6 – нагревательный элемент; 7 – датчик температуры воздуха внутри короба; 8 – датчик температуры воздуха снаружи короба).

Представлены фотографии экспериментального устройства с установленным испытуемым образцом стены здания из железобетона с указанием мест размещения датчиков температуры и поверхностной плотности теплового потока (рисунок 8).

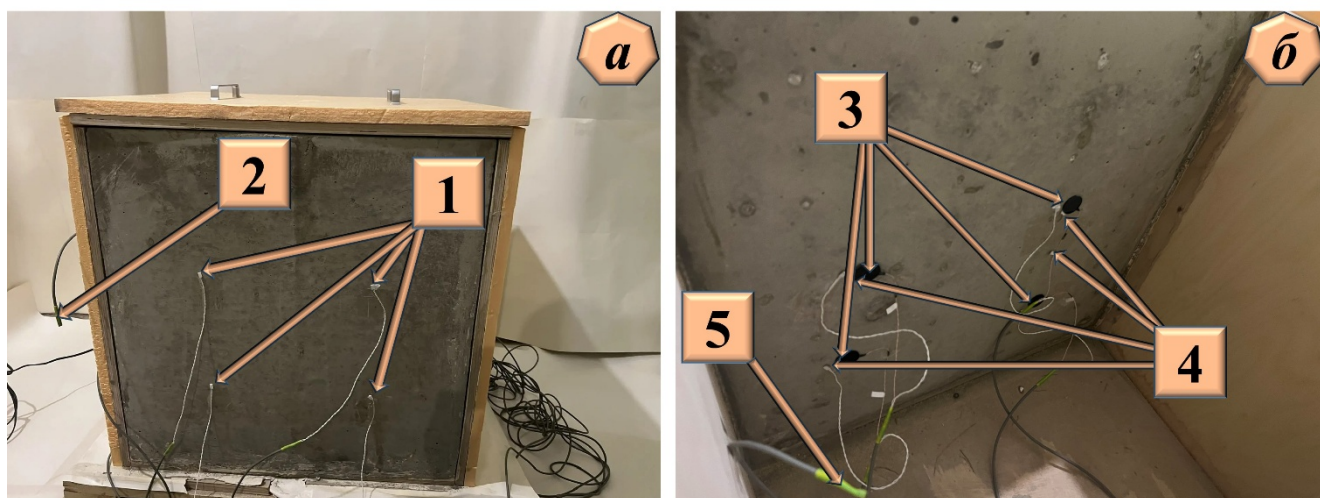


Рисунок 8. Фотографии экспериментального устройства с установленным испытуемым образцом стены здания из железобетона с указанием мест размещения датчиков температуры и поверхностной плотности теплового потока (а – вид экспериментального устройства снаружи; б – вид экспериментального устройства изнутри; 1 – датчики температуры наружной поверхности испытуемого образца; 2 – датчик температуры воздуха снаружи устройства; 3 – датчики поверхностной плотности теплового потока; 4 – датчики температуры внутренней поверхности испытуемого образца; 5 – датчик температуры воздуха внутри устройства).

Испытания проводят в два этапа. На первом этапе выполнялись эксперименты на образцах без трещины. На втором этапе – на образцах с трещиной.

Удельные потери теплоты, обусловленные трещиной стены здания, вычисляются как разность удельных потерь теплоты через стену с трещиной, заполненной инъекционным раствором, и стену без трещины по формуле:

$$\psi_{\text{эксп. трещины}} = \frac{\chi_{\text{эксп. с трещиной}} - \chi_{\text{эксп. без трещины}}}{l_{\text{трещины}}}. \quad (5)$$

где $\psi_{\text{эксп. с трещиной}}$ – удельные потери теплоты через трещину стены здания, заполненную инъекционным раствором, определенные по результатам эксперимента, Вт/(м·°C); $\chi_{\text{эксп. с трещиной}}$ – удельные потери теплоты через стену здания с трещиной, заполненной инъекционным раствором, определенные по результатам эксперимента, Вт/°C; $\chi_{\text{эксп. без трещины}}$ – удельные потери теплоты стену здания без трещины, определенные по результатам эксперимента, Вт/°C; $l_{\text{трещины}}$ – протяженность трещины, м.

Представлены фотографии предложенных экспериментальных устройств с установленными на них образцами стен зданий без трещин (рисунок 9а, рисунок 9в, рисунок 9д) и с трещинами (рисунок 9б, рисунок 9г, рисунок 9е).



Рисунок 9. Фотографии предложенных экспериментальных устройств с установленными на них образцами стен зданий (а – пенобетон; б – пенобетон с отремонтированной трещиной; в – кирпич; г – кирпич с отремонтированной трещиной; д – железобетон; е – железобетон с отремонтированной трещиной).

Для сопоставления результатов экспериментальных исследований по определению удельных потерь теплоты через трещины стен зданий с данными математического моделирования было проведено 60 экспериментов на образцах стен зданий без трещины и с отремонтированной трещиной для пенобетона, кирпича и железобетона (по 10 экспериментов на каждом типе образцов).

Представлено сравнение удельных потерь теплоты через стену из кладки из блоков из пенобетона толщиной 0,2 м, отнесенных к 1 метру трещины, до нанесения и после нанесения и ремонта трещины по результатам экспериментального исследования и по результатам математического моделирования (рисунок 10).

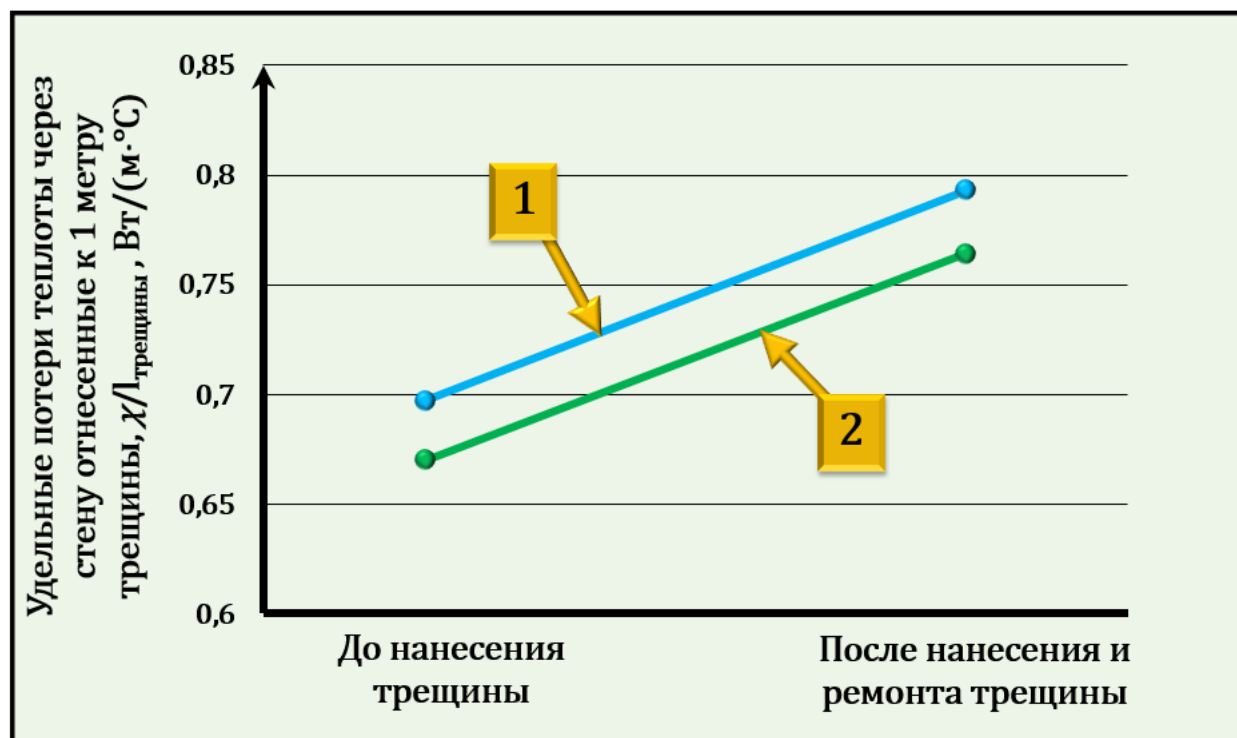


Рисунок 10. Сравнение удельных потерь теплоты через стену из кладки из блоков из пенобетона толщиной 0,2 м, отнесенных к 1 метру трещины до нанесения и после нанесения и ремонта трещины (1 – по результатам экспериментального исследования; 2 – по результатам математического моделирования).

Из рисунка 10 видно, что изменение удельных потерь теплоты через стену из кладки из блоков из пенобетона толщиной 0,2 м, отнесенных к 1 метру трещины, по результатам математического моделирования и количественно и качественно совпадают с результатами эксперимента.

Определено, что удельные потери теплоты через трещину стены здания $\psi_{\text{трещины}}$ с основанием из газобетона, кирпича и железобетона, определенные по результатам эксперимента совпадают с результатами математического моделирования. Разница удельных потерь теплоты через трещину для стены из кладки из блоков из пенобетона составило 2,1 %; для стены из кладки из кирпича составило 3,8 %; для стены из железобетона составило 2,4 %. Был сделан вывод об успешном подтверждении результатов математического моделирования температурного поля стен зданий с трещинами, заполненными инъекционным раствором, экспериментальными исследованиями.

В **пятой** главе разработана уточненная формула для определения сопротивления теплопередаче стен зданий с учетом отремонтированных трещин и установленных пакеров:

$$R_{0y}^{PP} = \frac{1}{\frac{1}{R_{0n}^{PP}} + \sum l_{тр.i} \cdot \psi_{тр.i} + \sum n_{пак.k} \cdot \chi_{пак.k}}. \quad (6)$$

где R_{0y}^{PP} – уточненное значение приведенного сопротивления теплопередаче стены здания с учетом трещин и пакеров, заполненных инъекционным раствором, (м²·°C)/Вт; R_{0n}^{PP} – приведенное сопротивление теплопередаче стены здания без учета трещин и пакеров, заполненных инъекционным раствором, (м²·°C)/Вт; $l_{тр.i}$ – длина трещины i-го вида, приходящаяся на 1 м² стены здания, м/м²; $\psi_{тр.i}$ – удельные потери теплоты, проходящие через 1 м трещины i-го вида, Вт/(м·°C); $n_{пак.k}$ – количество пакеров k-го вида, приходящихся на 1 м² стены здания, 1/м²; $\chi_{пак.k}$ – удельные потери теплоты, проходящие через пакер k-го вида, Вт/(м·°C).

Рассмотрено здание школы в поселке Ватутинки (Московская область) со стеной из кладки из блоков из пенобетона, утепленной минеральной ватой. Стена оштукатурена с двух сторон.

Представлен фрагмент развертки здания школы (рисунок 11).

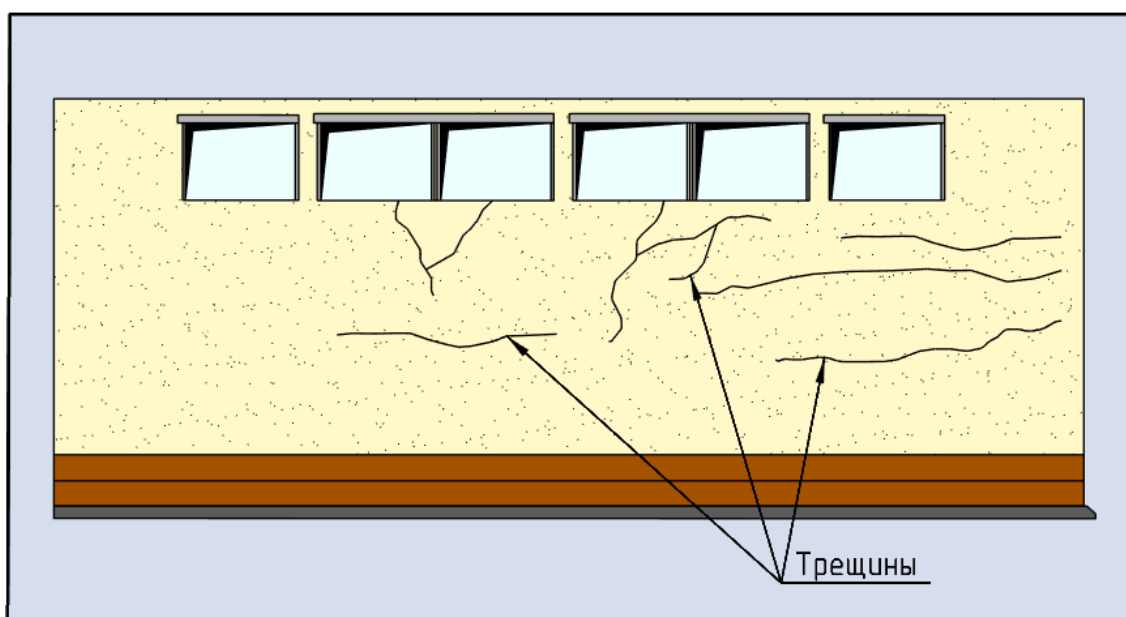


Рисунок 11. Фрагмент развертки стены здания школы с нанесенными трещинами (спортивный зал).

Представлены значения требуемого сопротивления теплопередаче, приведенного сопротивления теплопередаче без учета трещин и пакеров, а также приведенного сопротивления теплопередаче с учетом трещин и пакеров, заполненных инъекционным раствором (рисунок 12).

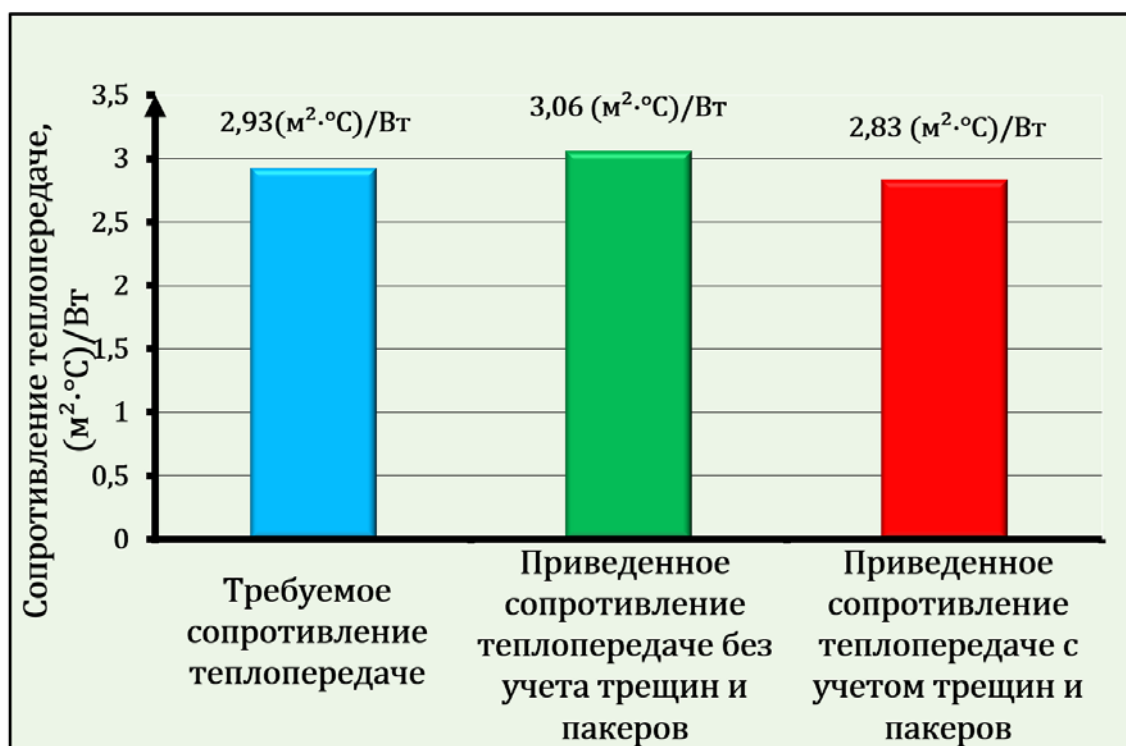


Рисунок 12. Значения требуемого сопротивления теплопередаче, приведенного сопротивления теплопередаче без учета трещин и пакеров, а также приведенного сопротивления теплопередаче с учетом трещин и пакеров, заполненных инъекционным раствором.

Для климатических условий строительства требуемое сопротивление теплопередаче составило $2,93 (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$. С учетом теплотехнических неоднородностей приведенное сопротивление теплопередаче стены здания составило $3,06 (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$. После появления в стене трещин и проведения их инъектирования с помощью пакеров приведенное сопротивление теплопередаче стены здания составило $2,83 (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$. Снижение приведенного сопротивления теплопередаче из-за трещин и пакеров, заполненных инъекционным раствором, составило 7,5 %. Данное значение ниже требуемого сопротивления теплопередаче, что не допускает строительство данной ограждающей конструкции. Для выполнения норм по тепловой защите здания для рассматриваемой стены необходимо увеличение толщины слоя утеплителя повторный расчет значения приведенного сопротивления теплопередаче стены здания с учетом трещин и пакеров, заполненных инъекционным раствором.

Представлены удельные потоки теплоты для элементов стены здания школы с учетом трещин и пакеров, заполненных инъекционным раствором (таблица 1).

Из таблицы 1 видно, что 69,7 % теплоты уходит через гладь стены, 22,9 % теплоты уходит через теплотехнические неоднородности без учета трещин и пакеров и 7,4 % теплоты уходит через трещины и пакеры, заполненные инъекционным раствором.

Таким образом, можно сделать вывод о значительном влиянии трещин и пакеров на приведенное сопротивление теплопередаче рассматриваемой стены здания.

Таблица 1. Удельные потоки теплоты для элементов стены здания школы с учетом трещин и пакеров, заполненных инъекционным раствором

Тип неоднородности	Элемент	Название элемента	Удельный геометрический показатель	Удельный потери теплоты	Удельный поток теплоты через элемент, Вт/(м ² ·°C)	Доля общего потока теплоты, через фрагмент, %
Теплотехнические неоднородности в соответствии с СП 230.13330.2015 «Конструкции ограждающие. Характеристики теплотехнических однородностей»	Плоский	Стена	1 м ² /м ²	0,246 Вт/(м ² ·°C)	0,246	69,7
	Линейный	Стыки с оконными блоками	0,274 м/м ²	0,13 Вт/(м·°C)	0,036	10,2
		Примыкание к цокольному ограждению	0,169 м/м ²	0,157 Вт/(м·°C)	0,027	7,6
		Углы здания	0,1 м/м ²	0,08 Вт/(м·°C)	0,008	2,3
	Точечный	Тарельчатый анкер	5 л/м ²	0,002 Вт/°C	0,01	2,8
Предложенные теплотехнические неоднородности	Линейный	Трещины, заполненные инъекционным раствором	0,7 м/м ²	0,012 Вт/(м·°C)	0,008	2,3
	Точечный	Пакеры, заполненные инъекционным раствором	3,5 л/м ²	0,005 Вт/°C	0,018	5,1
Итого:					0,353	100

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен обзор литературы по экспериментальным и расчетным способам определения температурного поля узлов ограждающих конструкций зданий, на основании которого приняты решения о математическом моделировании температурного поля с помощью дифференциального уравнения теплопроводности и разработки экспериментального устройства по определению удельных потерь теплоты через трещины в стенах зданий.

2. Проведено математическое моделирование температурных полей узлов ограждающих конструкций с трещинами и пакерами, заполненными инъекционным раствором, для стен зданий с основаниями кладки из блоков из

пенобетона, кладки из кирпича и железобетона. В результате моделирования получены значения удельных потерь теплоты для трещин и пакеров, заполненных инъекционным раствором.

3. Разработаны номограммы удельных потерь теплоты, которые позволяют определять удельные потери теплоты через трещины и пакеры, заполненные инъекционным раствором. Предложенные номограммы позволяют определить удельные потери теплоты упрощенно без необходимости построения температурного поля.

4. Сконструировано новое экспериментальное устройство по определению удельных потерь теплоты ограждающих конструкций здания, содержащих отремонтированные трещины.

5. Проведены эксперименты на новом устройстве, которые позволили определить удельные потери теплоты через трещины стен зданий, содержащих основания из блоков из пенобетона, кирпича и железобетона. Данные эксперименты подтвердили результаты математического моделирования температурного поля стен зданий с трещинами, заполненными инъекционным раствором.

6. Разработан уточненный инженерный метод расчета приведенного сопротивления теплопередаче стен зданий, учитывающий трещины и пакеры, заполненные инъекционным раствором. Данный метод позволяет обосновывать решения по дополнительному утеплению стен зданий после их ремонта.

Рекомендации по использованию результатов диссертации:

1. Рекомендуется использовать предложенные номограммы для определения удельных потерь теплоты через трещины и пакеры, заполненные инъекционным раствором, в практической инженерной работе для вычисления приведенного сопротивления теплопередаче стен зданий.

2. Рекомендуется использовать разработанный экспериментальный подход по определению удельных потерь теплоты через трещины стен зданий, заполненных инъекционным раствором, в деятельности исследовательских лабораторий для экспериментального определения удельных потерь теплоты различных типов трещин.

3. Рекомендуется принимать решения о дополнительном утеплении стены здания после ремонта трещин с использованием выведенной уточненной формулы по определению приведенного сопротивления теплопередаче стены здания с учетом трещин и пакеров, заполненных инъекционным раствором.

Перспективы дальнейшей разработки темы диссертации:

1. Рассмотрение большего количества отремонтированных повреждений ограждающих конструкций и исследование их влияния на температурное поле зданий.

2. Исследование влияния трещин и пакеров, заполненных инъекционным раствором, на потери теплоты ограждающих конструкций зданий, постоянно контактирующих с грунтовой влагой.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Публикации в изданиях, включенных в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук»

1. Зубарев, К.П. Сопротивление теплопередаче различных ограждающих конструкций зданий при стационарном и нестационарном влажностном состоянии / К.П. Зубарев, **В.Л. Добшиц**, В.В. Казузин, Ю.С. Зобнина // Components of scientific and technological progress. – 2024. – Том 98. – № 8. – С. 6-10. (ВАК К3)
2. Зубарев, К.П. Тепло-влажноперенос в различных задачах строительства / К.П. Зубарев, А.Ю. Лоптев, **В.Л. Добшиц**, Ю.С. Зобнина // Перспективы науки. – 2024. – Том. 179. – № 8. – С. 67-70. (ВАК К3)
3. Зубарев, К.П. Влияние применения технологии «зеленой» кровли на энергосбережение здания. Обзор литературы / К.П. Зубарев, В.К. Ахметов, З.Р. Алиханова, **В.Л. Добшиц**, Н.Ю. Заварзин // Приволжский научный журнал. – 2025. – Том 74. – № 2. – С. 139-149. (ВАК К2)
4. Зубарев, К.П. Влияние климатических факторов на температурно-влажностный режим фасада здания / К.П. Зубарев, **В.Л. Добшиц**, А.А. Бакирова, В.Д. Федосеев // Перспективы науки. – 2025. – Том 185. – № 2. – С. 57-60. (ВАК К3)
5. Зубарев, К.П. Повышение температурно-влажностных характеристик модульных фасадов зданий / К.П. Зубарев, А.А. Бакирова, В.В. Казунин, **В.Л. Добшиц** // Перспективы науки. – 2025. – Том 185. – № 2. – С. 61-66. (ВАК К3)
6. Зубарев, К.П. Обзор методов математического моделирования температурно-влажностных характеристик различных фасадов зданий / К.П. Зубарев, **В.Л. Добшиц**, А.А. Бакирова, Ю.А. Сапронова // Components of scientific and technological progress. – 2025. – Том. 105. – № 3. – С. 23-29. (ВАК К3)
7. Зубарев, К.П. Математическое моделирование температурного поля ограждающих конструкций зданий / К.П. Зубарев, М.В. Емельянов, Ю.А. Сапронова, **В.Л. Добшиц**, Н.Ю. Заварзин, В.В. Казунин // Строительство: наука и образование. – 2026. – Том 16. – № 1. – С. 109-125. (ВАК К2)
8. Зубарев, К.П. Исследование теплового режима в ограждающих конструкциях зданий / К.П. Зубарев, Н.Ю. Заварзин, В.В. Казунин, **В.Л. Добшиц** // Components of scientific and technological progress. – 2026. – Том 118. – № 4. – С. 8-12. (ВАК К3)
9. Зубарев, К.П. Исследования теплофизических параметров модульных фасадов / К.П. Зубарев, В.В. Казунин, **В.Л. Добшиц**, Л.Г. Гаранян, М.В. Емельянов, М.А. Слизова // Строительство: наука и образование. – 2026. – Том 16. – № 2. – С. 82-102. // (ВАК К2)
10. Зубарев, К.П. Расчетные исследования температурных полей ограждающих конструкций зданий / К.П. Зубарев, **В.Л. Добшиц**, В.В. Казунин, Л.Г. Гаранян, Д.С. Синельникова // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2026. – Том 28. – № 3. – С. 191-202. (ВАК К2)
11. Зубарев, К.П. Особенности нормирования и измерения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий / К.П. Зубарев, **В.Л. Добшиц**,

В.В. Казунин, Л.Г. Гаранян, Д.С. Синельникова // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2026. – Том 1103. – № 7. – С. 39-41. (БАК К2)

12. Зубарев, К.П. Современные исследования в области устранения трещин с применением технологии инъектирования / К.П. Зубарев, **В.Л. Добшиц**, В.В. Казунин, Л.Г. Гаранян, М.А. Слизова // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2026. – Том 1104. – № 8. – С. 36-38. (БАК К2)

13. Zubarev, K.P. Mathematical modeling of heat transfer through building envelopes with cracks / K.P. Zubarev, **V.L. Dobshits**, V.V. Kazunin, Y.A. Sapronova, V.D. Fedoseev, O.V. Kalinina // Construction Materials and Products. – 2026. – Vol. 9. – No. 4. – Art. No. 4. (БАК К2)

14. Zubarev, K.P. Experimental determination of heat losses through cracks in building walls / K.P. Zubarev, **V.L. Dobshits**, V.V. Kazunin, Y.A. Sapronova, V.D. Fedoseev, O.V. Kalinina // Construction Materials and Products. – 2026. – Vol. 9. – No. 5. – Art. No. 5. (БАК К2)

Результаты интеллектуальной деятельности (патенты на изобретения, свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ)

15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023682072 Российская Федерация. Программа по оценке влияния дефектов оболочки здания на поток теплоты через конструкцию здания / Зубарев К.П., **Добшиц В.Л.**; заявитель и правообладатель Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы – № 2023680918; заявл. 12.10.2023; опубл. 20.10.2023; Бюл. № 10.

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2025616756 Российская Федерация. Программа для определения теплотехнических характеристик здания при его обследовании / Зубарев К.П., **Добшиц В.Л.**; заявитель и правообладатель Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы – № 2025614290; заявл. 04.03.2025; опубл. 19.03.2025; Бюл. № 3.

17. Патент на изобретение 2866502 Российская Федерация, СПК G01N 25/18, G01N 52/72. Способ для определения удельных потерь теплоты через трещину стены здания, заполненную инъекционным раствором / Зубарев К.П., **Добшиц В.Л.**, Казунин В.В. Заварзин Н.Ю.; заявитель и патентообладатель Зубарев К.П. – № 2026103918; заявл. 12.02.2026; опубл. 20.07.2026; Бюл. № 20. – 14 с.

18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2026683997 Российская Федерация. Программа для расчета приведенного сопротивления теплопередаче стен зданий с трещинами и пакерами, заполненными инъекционным раствором / Зубарев К.П., **Добшиц В.Л.**; заявитель и правообладатель Зубарев К.П. – № 2026683205; заявл. 27.07.2026; опубл. 06.08.2026; Бюл. № 8.

19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2026684453 Российская Федерация. Программа для оценки удельных геометрических показателей трещин и пакеров в стенах здания / Зубарев К.П., **Добшиц В.Л.**; заявитель и правообладатель Зубарев К.П. – № 2026683204; заявл. 27.07.2026; опубл. 12.08.2026; Бюл. № 8.

АННОТАЦИЯ ДИССЕРТАЦИИ

Добшиц Виктор Львович

«Методика расчета теплопередачи через ограждающие конструкции зданий при наличии трещин»

Диссертационная работа посвящена изучению влияния отремонтированных трещин на теплопередачу через стены зданий. Исследовались стены из пенобетона, кирпича и железобетона в вариантах без утеплителя и с утеплителем. Было проведено математическое моделирование температурного поля ограждающих конструкций зданий с трещинами, заполненными инъекционным раствором. Решалось дифференциальное уравнение теплопроводности с краевыми условиями второго, третьего и четвертого рода методом конечных элементов в программном комплексе Ansys Workbench 2024. На основании расчетов были разработаны номограммы удельных потерь теплоты через отремонтированные трещины и инъекционные пакеры. Результаты теоретического исследования подтверждены проведенными экспериментами на новом экспериментальном устройстве. На устройство получен патент на изобретение. Оценено влияние трещин и пакеров на тепловую защиту реконструируемого здания школы в поселке Ватутинки (Московская область). Для исследованного случая получено, что снижение приведенного сопротивления теплопередаче стены здания из-за трещин и пакеров, заполненных инъекционным раствором, составило 7,5 %.

ABSTRACT OF THE DISSERTATION

Dobshits Victor Lvovich

«Methodology for calculating heat transfer through building envelopes with cracks»

The dissertation is devoted to investigating the influence of injection-repaired cracks on heat transfer through building walls. The study considered foam concrete, brick, and reinforced concrete walls, both insulated and uninsulated. Numerical modelling was performed to evaluate the temperature field in building envelopes containing cracks repaired with an injection grout. The heat conduction equation with Neumann (second-kind), Robin (third-kind), and fourth-kind boundary conditions was solved using the finite element method in ANSYS Workbench 2024. Based on the calculations, nomograms were developed for estimating the specific heat loss associated with repaired cracks and injection packers. The theoretical study was validated experimentally using a newly designed experimental apparatus, for which a patent has been granted. The influence of the repaired cracks and injection packers on the thermal performance of a renovated school building in Vatutinki (Moscow Region) was also assessed. For the investigated case, cracks and packers filled with injection grout reduced the overall thermal resistance of the wall by 7.5%.