

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Малыгиной Оксаны Александровны на тему «Повышение эффективности систем отопления совершенствованием методов определения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.3.

Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха,
газоснабжение и освещение.

Актуальность темы диссертации.

Одним из основных направлений повышения эффективности систем отопления жилых зданий массовой застройки является использование теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях. В настоящее время на рынке утеплителей представлен целый ряд отечественных теплоизоляционных материалов, среди которых наиболее распространенными являются IZOVOL, ТЕХНОФАС ПРОФ, ПЕНОПЛЕКС КОМФОРТ. Несмотря на их широкое применение, не достаточно изучено влияние изменения влагосодержания материала в процессе эксплуатации на теплофизические свойства данных утеплителей, что не позволяет достоверно прогнозировать тепловые потери систем отопления и оценивать приведенные затраты на их функционирование в отопительный период.

В связи с этим, повышение эффективности систем отопления зданий на основе совершенствования методов определения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций с теплоизоляционным слоем, является актуальной научно-практической задачей, решение которой позволит обеспечить повышение точности прогнозирования тепловых потерь и снижение приведенных затрат.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Для выполнения поставленных задач соискателем применен комплексный подход в теоретических и экспериментальных исследованиях. Автором применены методы математического и компьютерного моделирования, методы теории вероятности и математической статистики, методы экспериментальных исследований на лабораторном стенде. При разработке математических моделей в основу положены уравнение теплового потока и дифференциальное уравнение теплопроводности; уравнение переноса водяного пара и дифференциальное уравнение его диффузии; уравнение потока капельной влаги и дифференциальное уравнение влажопроводности.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность и обоснованность полученных результатов и сформулированных выводов в диссертационной работе убедительно

подтверждается корректным применением математического аппарата, значительным объемом опытных данных, полученных в созданной имитационной модели четырехслойной ограждающей конструкции, применением современных способов измерения и методов экспериментальных исследований, а также сопоставлением теоретических и экспериментальных данных.

Научная новизна:

1. Разработана математическая модель тепловлагоденоса в четырехслойной ограждающей конструкции с учетом изменения влажности в процессе эксплуатации, обеспечивающая повышение точности прогнозирования тепловых потерь систем отопления.

2. На основе экспериментальных исследований получены аналитические зависимости для коэффициентов теплопроводности и влагоденности типовых теплоизоляционных материалов в зависимости от сорбционной влажности, что позволило усовершенствовать методы определения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций.

3. Предложена методика моделирования теплотехнических характеристик четырехслойной ограждающей конструкции с учетом изменения влажности в процессе эксплуатации, позволяющая анализировать энергоэффективность и экономическую целесообразность применения теплоизоляционных материалов.

Практическая ценность:

1. Разработана имитационная модель теплотехнических характеристик четырехслойной ограждающей конструкции в пакете программ COMSOL Multiphysics 6.2 для прогнозирования тепловых потерь систем отопления.

2. Проведены исследования теплотехнических характеристик и тепловых потерь четырехслойной ограждающей конструкции для типовых теплоизоляционных материалов IZOVOL, ТЕХНОФАС ПРОФ, ПЕНОПЛЕКС КОМФОРТ на примере жилых зданий массовой застройки г. Луганска.

3. Выполнен анализ энергоэффективности и экономической целесообразности применения типовых теплоизоляционных материалов для жилых зданий массовой застройки, что позволило разработать рекомендации по повышению эффективности систем отопления в условиях эксплуатации г. Луганска.

Результаты диссертационной работы использованы и внедрены на ГУП ЛНР «Лугансквода», ЧАО «Луганский завод «Сантехдеталь» при модернизации систем инженерного оборудования производственных участков и помещений, рекомендованы к рассмотрению Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства ЛНР и внедрены в учебном процессе на кафедре «Вентиляция, теплогазо- и водоснабжение» института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля.

Анализ основного содержания диссертации.

Диссертация содержит введение, пять разделов, заключение, список литературы и приложения. Полный объем диссертации составляет 165 страниц, в том числе 138 страниц основного текста, список литературы из 159 источников на 18 страницах, а также приложений на 9 страницах. В работе имеется 66 рисунков и 19 таблиц.

Во введении представлена актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследований, приведена научная новизна, теоретическая и практическая значимость, показана методология и методы исследования, представлены положения, выносимые на защиту диссертации, обоснована достоверность полученных результатов, изложены сведения об апробации научных исследований и опубликованных научных работах, а также информация по структуре и объему диссертации.

В первом разделе проведен анализ современных методов определения теплотехнических характеристик теплоизоляционных материалов и ограждающих конструкций, обоснованы основные направления исследований для повышения эффективности систем отопления зданий.

Автором обосновано, что современные методы определения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций недостаточно точно позволяют прогнозировать реальное состояние конструкции в процессе эксплуатации, практически отсутствуют результаты исследований по влиянию влагосодержания на коэффициенты теплопроводности и влагопроводности теплоизоляционных материалов. Требуют развития методики и программные средства для имитационного моделирования процессов тепловлагоденоса в многослойных ограждающих конструкциях жилых зданий массовой застройки.

В качестве основного направления для повышения эффективности систем отопления жилых зданий массовой застройки принята разработка рекомендаций по рациональному использованию типовых теплоизоляционных материалов для внешних ограждающих конструкций, построенных на основе достоверного прогноза тепловых потерь и оценки приведенных затрат. Повышение точности прогнозирования энергоэффективности и оценки экономической целесообразности можно достигнуть совершенствованием методов определения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций.

На основании выполненного анализа состояния проблемы, научных работ по вопросам повышения эффективности систем отопления сформулированы цель и задачи исследования, приведенные в начале автореферата.

Во втором разделе диссертации предложена математическая модель тепловлагоденоса в четырехслойной ограждающей конструкции для расчета тепловых потерь систем отопления с учетом изменения влажности материалов в процессе эксплуатации. Для каждого слоя ограждающей конструкции записаны следующие уравнения:

- уравнение теплового потока и дифференциальное уравнение теплопроводности с граничными условиями для температуры;

- уравнение переноса водяного пара и дифференциальное уравнение его диффузии с граничными условиями для парциального давления;
- уравнение потока капельной влаги и дифференциальное уравнение влажностопроводности с граничными условиями для влажностопроводности.

Четырехслойная ограждающая конструкция включает внутренний штукатурный слой, материал стены здания, теплоизоляционный материал и наружный облицовочный слой. Коэффициенты теплопроводности и влажностопроводности теплоизоляционных материалов рассматриваются как функции переменной в процессе эксплуатации сорбционной влажности, что позволило усовершенствовать методы определения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций.

Разработанная математическая модель в четырехслойной ограждающей конструкции с учетом изменения влажностопроводности в процессе эксплуатации позволяет повысить точность прогнозирования тепловых потерь систем отопления.

В третьем разделе диссертации рассмотрен разработанный лабораторный стенд, методика проведения экспериментов и методика обработки опытных данных для экспериментальных исследований коэффициентов теплопроводности и влажностопроводности теплоизоляционных материалов IZOVOL, ТЕХНОФАС ПРОФ, ПЕНОПЛЕКС КОМФОРТ в зависимости от сорбционной влажности. Испытания проведены в соответствии с ГОСТ 24816-81 и ГОСТ Р 56504-2015. По результатам экспериментов получены аппроксимационные зависимости для коэффициентов теплопроводности и влажностопроводности. Зависимости имеют линейный характер, адекватность которых подтверждена по критерию Фишера. Значения экспериментального критерия Фишера $F_{\text{экс}} < 1,57$ не превышали табличного $F_{\text{т}} = 1,81$ при доверительной вероятности $\alpha=0,95$, что позволило считать полученные аппроксимационные зависимости адекватными.

Наличие аналитических зависимостей для коэффициентов теплопроводности и влажностопроводности позволяют усовершенствовать методы определения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций с теплоизоляционным слоем.

Четвертый раздел диссертации посвящен разработанной методике моделирования теплотехнических характеристик четырехслойной ограждающей конструкции с учетом изменения влажности в процессе эксплуатации, позволяющая анализировать энергоэффективность и экономическую целесообразность применения теплоизоляционных материалов. В основе предложенной методики используется математическая модель тепловлажностопереноса в ограждающей конструкции с учетом экспериментально установленного влияния влажности на теплофизические свойства теплоизоляционных материалов.

Соискателем реализована предложенная методика в среде пакета программ COMSOL Multiphysics 6.2, где с помощью интерфейсов Heat Transfer in Building Materials и Moisture Transport in Building Materials построена

имитационная модель теплотехнических характеристик четырехслойной ограждающей конструкции для прогнозирования тепловых потерь систем отопления для климатических параметров г. Луганска.

Автором проведены исследования теплотехнических характеристик и тепловых потерь систем отопления жилых зданий массовой застройки для типовых теплоизоляционных материалов IZOVOL, ТЕХНОФАС ПРОФ, ПЕНОПЛЕКС КОМФОРТ. Для оценки точности расчётов по предложенной методике использованы результаты тепловизионного обследования теплотехнического состояния наружных ограждающих конструкций для эксплуатируемых жилых зданий г. Луганска. Проведенное тепловизионное обследование ограждающих конструкций с теплоизоляционным слоем эксплуатируемых зданий с погрешностью до 2,6 % согласуется с результатами расчетов по предложенной методике.

Пятый раздел диссертации посвящен повышению эффективности систем отопления

Соискателем выполнен анализ энергоэффективности и экономической целесообразности применения типовых теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях жилых зданий массовой застройки на примере г. Луганск.

Автором проведена оценка энергоэффективности типовых утеплителей IZOVOL, ТЕХНОФАС ПРОФ, ПЕНОПЛЕКС КОМФОРТ по критерию Гагарина В.Г., Пастушкова П.П. в диапазоне значений коэффициентов теплопроводности, соответствующим изменению влажности в процессе эксплуатации.

Соискателем выполнен анализ экономической целесообразности применения типовых утеплителей на основе оценки доли приведенных затрат, обусловленных тепловыми потерями за весь отопительный период и капитальными затратами на приобретение утеплителя. Для определения годовых эксплуатационных затрат, обусловленных тепловыми потерями, с использованием разработанной имитационной модели выполнена оценка тепловых потоков для каждого месяца отопительного периода через наружные четырехслойные кирпичные и панельные ограждающие конструкции с типовыми теплоизоляционными материалами.

Показано, что реальные тепловые потери через ограждающие конструкции с учетом изменения влажности в условиях эксплуатации г. Луганска существенно отличаются от результатов, полученных для нормативных условий эксплуатации, в зависимости от вида применяемого утеплителя и месяца отопительного периода.

Соискателем доказано, что применение полученных рекомендаций обеспечивает снижение приведенных затрат систем отопления жилых зданий массовой застройки до 4,9 % для зданий с кирпичными стенами и до 3,8 % для панельных зданий в условиях эксплуатации г. Луганска.

Рассмотренный подход к оценке экономической целесообразности применения типовых теплоизоляционных материалов может быть использован

и в других регионах в соответствии с местными климатическими параметрами и ценовыми показателями.

В заключении диссертации приведены основные результаты и выводы выполненных исследований согласно поставленной цели работы и задач для её достижения.

Редакционный анализ и публикации автора.

Диссертация изложена доступным для понимания техническим языком. Стил ь изложения материала логичный и последовательный. Оформление диссертационной работы отвечает требованиям ВАК при Минобрнауки России.

По теме диссертации опубликована 21 научная работа, в том числе 7 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК.

Содержание автореферата в полной мере отражает основные положения, идеи и выводы диссертации. Между текстами автореферата и диссертации нет несоответствия.

Дискуссионные положения и замечания по диссертации.

1. В первом разделе диссертационной работе следовало бы привести анализ теплотехнических характеристик применяемых ограждающих конструкций жилых зданий массовой застройки.

2. В обзорной части было бы целесообразным провести сравнительный анализ существующих математических моделей процессов тепловлагопереноса в ограждающих конструкций систем отопления.

3. При разработке математической модели тепловлагопереноса в четырехслойной ограждающей конструкции не учтено влияние влагосодержания на коэффициент паропроницаемости. В качестве потенциала влагопереноса целесообразно использовать химический потенциал.

4. При моделировании процессов тепловлагопереноса недостаточно полно обоснована зависимость сорбционной влажности как функции относительной влажности воздуха, на основе построения изотерм сорбции и десорбции.

5. Требуется детализации метрологический анализ средств измерения при выполнении экспериментальных исследований, соискатель ограничился лишь сводной таблицей погрешностей измеряемых величин. Важно использовать при обработке экспериментальных данных методом статистической обработки.

6. Недостаточно полно представлена методика тепловизионного обследования.

7. Соискателю следовало бы пояснить почему методика моделирования теплотехнических характеристик четырехслойной ограждающей конструкции реализовано именно в пакете прикладных программ COMSOL Multiphysics.

8. При оценке приведенных затрат на эксплуатацию систем отопления не учитывается стоимость монтажа теплоизоляционных материалов.

9. Соискателем не рассмотрен вопрос влияния толщины теплоизоляционного материала на показатели экономической эффективности систем отопления.

Заключение по диссертации.

Диссертация Малыгиной Оксаны Александровны является самостоятельным законченным научным исследованием, в котором решена актуальная научно-практическая задача повышения эффективности систем отопления зданий совершенствованием методов определения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.

Научная и практическая значимость работы бесспорна и подтверждена данными математического моделирования и натурными испытаниями, а также актами внедрения на производственных предприятиях и в учебном процессе. Диссертация отвечает требованиям п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 в ред. от 16.10.2024 г. № 1382.

Считаю, что **Малыгина Оксана Александровна** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.

Настоящим я, Еремкин Александр Иванович, даю согласие на автоматизированную обработку персональных данных с указанием фамилии, имени, отчества.

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Пензенский
государственный университет
архитектуры и строительства», заведующий
кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции



А.И. Еремкин
21.10.2025

440028, Пензенская область, г. Пенза, улица Германа Титова, д. 28. тел. +7 (856) 343-70-33 E-mail: tgk@pguas.ru
Сайт организации: office@pguas.ru

Подпись д-ра техн. наук Еремкина А.И. заверяю:

