

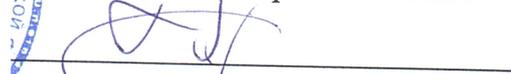
УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Иркутский

национальный исследовательский

технический университет»,

Ионов Александр Матвеевич



13 » 02 2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» на диссертационную работу **Перепелицы Никиты Сергеевича** на тему «**Совершенствование теплообменных процессов в рекуперативных системах отведения дымовых газов от водогрейных котлов малой мощности**», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

Актуальность темы диссертации

Исследование соответствует стратегическим направлениям государственной политики в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, закреплённым в Федеральном законе № 261-ФЗ, в части увеличения использования вторичных энергетических ресурсов.

Перспективным направлением является разработка рекуперативных теплообменных устройств для утилизации низкопотенциального тепла уходящих газов. Применение теплообменника со встроенными когенерационными модулями позволяет не только рекуперировать тепло для

подогрева воздуха, но и преобразовывать его в электроэнергию, повышая общий КПД теплогенератора.

Однако процессы теплообмена в таких комбинированных системах изучены недостаточно. Существующие методики расчёта основаны на усреднённых параметрах, тогда как интенсивность теплопередачи зависит от множества изменяющихся факторов. В связи с этим разработка усовершенствованной методики, учитывающей пространственное изменение температур по длине теплообменника, представляет актуальную научно-техническую задачу. Её решение позволит создавать более эффективные системы утилизации тепла, отвечающие современным требованиям энергосбережения.

Таким образом, работа посвящена решению важной и своевременной проблемы, имеющей существенное значение для развития энергоэффективных технологий.

Работа выполнена в рамках реализации программы развития университета, программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030».

Структура и содержание диссертации

Во введении соискателем обоснована актуальность выбранной темы исследований, определены цель и задачи, сформулирована научная новизна диссертационной работы, установлены теоретическая и практическая значимость, приведены методология и методы исследований, оценка достоверности полученных результатов, представлены сведения об апробации работы, а также внедрении результатов исследований.

В первой главе проведен систематический анализ современных подходов к утилизации низкопотенциального тепла дымовых газов в рекуперативных теплообменниках коаксиального типа. Особое внимание уделено методам интенсификации теплопередачи и возможности применения термоэлектрического преобразования энергии в таких системах.

Проведенный анализ позволил выявить перспективные направления совершенствования теплообменных процессов и обосновать целесообразность разработки модифицированной конструкции, обеспечивающей комбинированную рекуперацию тепловой энергии за счет интеграции когенерационных модулей.

Во второй главе представлены математическое и численное моделирование процессов теплопередачи и аэродинамики в модифицированном теплообменнике типа «труба в трубе» с термоэлектрическими модулями. Предложено решение по внедрению рекуператора в существующую систему коллективного коаксиального дымоудаления, обеспечивающее рекуперацию тепла без модернизации базовой конструкции дымохода. Уточнен алгоритм определения эквивалентного диаметра для модифицированной конструкции рекуператора типа «труба в трубе», который позволяет достоверно оценивать интенсивность теплообмена и является основой для моделирования рабочих процессов. Проведенное численное моделирование показало, что модифицированная конструкция двухтрубного теплообменника обеспечивает более высокую эффективность теплообмена по сравнению с базовым вариантом. При этом анализ аэродинамических характеристик выявил, что улучшение тепловых показателей сопровождается увеличением аэродинамического сопротивления, что необходимо учитывать при проектировании реальных систем.

В третьей главе проведено комплексное экспериментальное изучение модернизированного двухтрубного теплообменника с пятиугольным кожухом и интегрированными когенерационными модулями. Получены регрессионные уравнения, описывающие зависимость температуры нагрева нагреваемого теплоносителя в межтрубном канале от его скорости и от температуры греющего теплоносителя на входе. Установлены количественные зависимости вырабатываемой мощности элементами Пельтье от температуры греющего теплоносителя на входе и скорости

нагреваемого потока. Получены зависимости потерь давления и аэродинамического коэффициента местного сопротивления в межтрубном канале от скорости нагреваемого теплоносителя.

В четвертой главе приведена методика промышленного испытания и предложен комплексный методический подход к проектированию модифицированного двухтрубного теплообменника и определению его эффективности, включающий расчетные методы, методику испытаний и технико-экономическое обоснование для различных условий эксплуатации.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Степень достоверности научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы подтверждается системным подходом к проведению исследований, включающим: корректное применение фундаментальных положений теории теплообмена и аэродинамики при построении математических моделей; использование современных методов численного моделирования в среде SolidWorks Flow Simulation; статистическую обработку экспериментальных данных с применением аттестованных средств измерений.

Достоверность результатов подтверждена высокой сходимостью теоретических и экспериментальных данных в рамках допустимой погрешности (не более 10%), а также отсутствием противоречий с общепринятыми научными теориями и работами других авторов. Практическое внедрение результатов исследований дополнительно свидетельствует об обоснованности полученных выводов и рекомендаций.

Новизна исследований и полученных результатов

Уточнен алгоритм определения эквивалентного диаметра для модифицированной конструкции рекуператора типа «труба в трубе». Получена закономерность, описывающая взаимосвязь температуры нагрева

теплоносителя в межтрубном канале от его скорости и от температуры греющего теплоносителя на входе. Определена зависимость вырабатываемой мощности элементами Пельтье от температуры греющего теплоносителя на входе и скорости нагреваемого теплоносителя. Аналитически получено уравнение аэродинамического коэффициента местного сопротивления в межтрубном канале с когенерационными модулями от его скорости. Разработаны номограммы для определения величины утилизации энергии от дымовых газов в предложенном рекуператоре при различных режимах работы водогрейных котлов.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в разработке комплекса математических моделей и алгоритмов, адекватно описывающих взаимосвязанные теплообменные, аэродинамические и термоэлектрические процессы в модифицированном рекуператоре коаксиального типа. Предложенные модели прошли экспериментальную верификацию, что подтверждает их корректность и возможность использования в научных исследованиях и инженерных расчётах.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в разработке готового инженерного решения – алгоритма расчёта модифицированного теплообменника типа «труба в трубе» с интегрированными когенерационными модулями, который может быть непосредственно использован при проектировании систем децентрализованного теплоснабжения с водогрейными котлами малой мощности. Проведённая оценка энергетической, экономической и экологической эффективности показала, что внедрение таких рекуператоров наиболее целесообразно при работе на твёрдом и жидком топливе, где срок окупаемость снижается в 5 раз по сравнению с использованием природного

газа, а экологический эффект при переходе с газа на уголь возрастает в 18,5 раз. Технико-экономическое обоснование, выполненное для условий города Курска, подтвердило экономическую целесообразность внедрения разработки со сроком окупаемости 6,4 года, что обосновывает её практическое применение в жилищно-коммунальном хозяйстве и малой энергетике. Результаты работы могут быть использованы для модернизации существующих и проектирования новых энергоэффективных систем утилизации тепла дымовых газов.

Результаты диссертационного исследования представлены в 19 научных работах, в том числе 3 статьях в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 3 статьях, входящие в базу статей Scopus и Web of Science, получены 4 патента РФ на изобретения.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации

Результаты и выводы диссертационного исследования представляют существенный научно-практический интерес и могут быть рекомендованы к внедрению на предприятиях теплоэнергетического комплекса Российской Федерации. Предложенные алгоритмы расчёта и конструктивные решения целесообразно применять при проектировании и модернизации систем децентрализованного теплоснабжения, что позволит повысить энергоэффективность котельных установок малой мощности за счёт комбинированной утилизации тепла дымовых газов.

Разработанный алгоритм расчета модифицированного двухтрубного теплообменника внедрен в практику проектирования ООО «Праймкей» и ОБУ «Курскгражданпроект» (г. Курск), что подтверждается полученными актами о внедрении.

Результаты диссертационного исследования внедрены в учебный процесс и используются при проведении лабораторных работ, практических занятий, а также в курсовом и дипломном проектировании бакалавров

направлений подготовки 08.03.01 «Строительство» и 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», магистров направлений 08.04.01 «Строительство» и 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» в ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (г. Курск).

По содержанию диссертации имеются следующие замечания

1. В работе не представлен детальный анализ вторичных тепловых потерь через торцевые участки конструкции, места крепления элементов Пельтье и возможные воздушные включения в оловянном слое. Неясно, как эти факторы могли повлиять на точность теплового баланса и достоверность экспериментальных данных.
2. Исследование выполнено для коаксиальной двухтрубной конструкции с пятиугольным кожухом. Не обсуждается возможность применения разработанных методик и выводов к другим типам теплообменников, что ограничивает область практического использования результатов.
3. Предложенный алгоритм расчёта эквивалентного диаметра для пятиугольного кожуха основан на геометрических преобразованиях, но не подтвержден сопоставлением с результатами CFD-моделирования распределения скоростей в несимметричном канале. Возможны отклонения в оценке аэродинамического сопротивления.
4. В работе не исследовано влияние шероховатости внутренней поверхности труб и пластин кожуха на теплообмен и аэродинамическое сопротивление. При реальной эксплуатации изменение шероховатости со временем может существенно влиять на характеристики системы.
5. Эксперименты проводились в установившихся режимах, но не изучалось влияние длительной эксплуатации (например, ухудшения электрофизических характеристик контактных соединений, окисления поверхностей) на эффективность теплообмена и генерации энергии.

Отмеченные вопросы и замечания не снижают общее положительное мнение о диссертационной работе, представленной на отзыв. Диссертация Перепелицы Никиты Сергеевича является актуальной научно-исследовательской работой, представляющей научный интерес и обладающей практической ценностью.

Соответствие диссертации научной специальности

Отраженные в диссертации результаты исследований соответствует паспорту научной специальности 2.1.3 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение», а именно пункту 3 – «Разработка и совершенствование систем теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха, разработка методов энергосбережения систем и элементов теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжения и освещения, охраны воздушного бассейна, защиты от шума зданий и сооружений, аспирации и пневмотранспорта, включая использование альтернативных, вторичных и возобновляемых источников энергии; развитие методов моделирования многофазных потоков и динамических процессов в аэродисперсных системах» и пункту 6 – «Теоретические и экспериментальные исследования теплофизических свойств рабочих тел теплотехнических устройств, повышение их надежности и эффективности. Разработка и исследование методов преобразования в работу низкопотенциальной теплоты, повышение ее потенциала в тепловых машинах, теплотехнические установки на их основе, методы расчета. Исследование процессов сжигания топлива и образования вредных веществ».

Общее заключение

Диссертация Перепелицы Никиты Сергеевича представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно-обоснованные технические и технологические решения и разработки по

увеличению эффективности работы рекуперативного оборудования систем вентиляции.

По актуальности затронутых вопросов, научной новизне и практической значимости диссертация соответствует требованиям, изложенным в п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842 в действующей редакции с изменениями от 25 января 2025 г.), предъявляемым к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Перепелица Никита Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.

Автореферат диссертации Перепелицы Никиты Сергеевича правильно отражает содержание диссертации «Совершенствование теплообменных процессов в рекуперативных системах отведения дымовых газов от водогрейных котлов малой мощности». Основные научные результаты достаточно полно отражены в 23 публикациях, в т. ч. и по перечню ВАК.

Диссертация и отзыв обсуждены на заседании кафедры инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет». Присутствовало 12 человек, с правом решающего голоса – 9 человек.

Результаты голосования: «за» – 9 чел.; «против» – 0 чел.; «воздержались» – 0 чел. Протокол № 6 от 13 февраля 2026 года.

Заведующий кафедрой «Инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ФГБОУ ВО

