

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

советника РААСН, доктора технических наук, доцента Корниенко Сергея Валерьевича на диссертационную работу Перепелицы Никиты Сергеевича на тему «Совершенствование теплообменных процессов в рекуперативных системах отведения дымовых газов от водогрейных котлов малой мощности», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

### **Актуальность темы диссертационной работы**

Проблема рационального использования вторичных энергоресурсов, в частности, низкопотенциальной теплоты дымовых газов, имеет высокую актуальность при решении задач повышения энергоэффективности и снижения эксплуатационных затрат в системах децентрализованного теплоснабжения. Несмотря на свою распространенность, существующие рекуперативные системы коаксиального типа часто демонстрируют недостаточную эффективность при работе с низкотемпературными потоками, что требует поиска новых решений.

Особый интерес представляет комбинированный подход, сочетающий традиционную рекуперацию теплоты с использованием когенерационных модулей. Интеграция таких модулей в конструкцию теплообменника позволяет не только утилизировать низкопотенциальную теплоту, но и осуществлять комбинированное производство тепловой и электрической энергии, создавая тем самым дополнительные возможности для повышения энергетической автономности объектов. Однако, несмотря на перспективность такого подхода, до настоящего времени отсутствовали комплексные методики экспериментального обоснования и расчета подобных гибридных систем, адаптированных к реалиям эксплуатации в составе котельных установок малой мощности.

Разработка и обоснование модифицированной конструкции коаксиального теплообменника с когенерационными модулями и оптимизированной геометрией каналов вносит существенный вклад в развитие методов интенсификации теплообмена и комбинированного преобразования энергии, что соответствует приоритетам государственной политики в области энергосбережения и устойчивого развития. В связи с этим выполненная Перепелицей Н.С. диссертационная работа, безусловно, актуальна.

### **Общая характеристика работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 231 странице машинописного текста, включающего 48 рисунков, 27 таблиц, списка литературы из 168 наименований, 8 приложений.

*Во введении* соискателем обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи научного исследования, раскрыты научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов. Изложены методологическая основа и инструментарий исследования, дана оценка достоверности выводов. Приведены сведения об апробации материалов работы на научных мероприятиях и о практическом внедрении предложенных решений.

*В первой главе* проведен аналитический обзор современных технологий утилизации низкопотенциальной теплоты отходящих дымовых газов с применением рекуператоров коаксиальной конструкции. Проанализированы существующие методы интенсификации теплопереноса, в частности, за счет модификации геометрии проточных каналов, а также рассмотрены подходы к использованию когенерационных модулей для целей утилизации теплоты. Итогом проведенного анализа стало научное обоснование необходимости

разработки нового класса теплообменного оборудования с комбинированной рекуперацией теплоты дымовых газов.

*Вторая глава* содержит математическое моделирование теплоаэродинамических процессов в усовершенствованном теплообменнике, оснащённом когенерационными модулями. Предложено решение по внедрению рекуператора в существующую систему коллективного коаксиального дымоудаления, обеспечивающее рекуперацию теплоты без модернизации базовой конструкции дымохода. Усовершенствован алгоритм расчёта эквивалентного диаметра для рекуператора схемы «труба в трубе», который позволяет точно оценивать интенсивность теплопередачи и служит основой для моделирования рабочих режимов. Выявлено преимущество кожуха в форме пентагона, способствующего увеличению эффективности теплообмена по сравнению с базовой конструкцией.

В *третьей главе* приведены результаты экспериментальных исследований для верификации корректности разработанных математических моделей. Получены регрессионные уравнения зависимости перепада температур нагреваемого теплоносителя от входных параметров системы. 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 *четвёртой главе* выполнен комплексный анализ, включающий энергетическую, экономическую и экологическую оценки эффективности разработанной конструкции. Техно-экономический расчёт, проведенный с учетом региональных тарифных условий, демонстрирует реализуемость проекта со сроком окупаемости 6,4 года, при этом максимальная экономическая эффективность достигается при эксплуатации на твердом и жидком топливе. Полученные количественные зависимости и выводы

формируют законченное инженерно-экономическое обоснование для практической реализации разработанной технологии в системах децентрализованной энергетики.

### **Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Новизна диссертационной работы определяется совокупностью следующих положений:

1. 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.

2. Получена закономерность, описывающая взаимосвязь температуры нагрева теплоносителя в межтрубном канале от его скорости и от температуры греющего теплоносителя на входе.

3. Определена зависимость вырабатываемой мощности элементами Пельтье от температуры греющего теплоносителя на входе и скорости нагреваемого теплоносителя.

4. Аналитически получено уравнение аэродинамического коэффициента местного сопротивления в межтрубном канале с когенерационными модулями от его скорости.

5. Разработаны номограммы для определения величины утилизации энергии от дымовых газов в предложенном рекуператоре при различных режимах работы водогрейных котлов, которые позволили усовершенствовать инженерную методику расчета и обеспечили возможность практической оценки энергоэффективности системы при изменении эксплуатационных условий.

Теоретическая значимость работы состоит в разработке комплекса теоретических моделей и алгоритмов расчета, описывающих теплообменные

и аэродинамические процессы в модифицированном рекуператоре типа «труба в трубе» с когенерационными модулями, а также проведении экспериментальных исследований тепловых и аэродинамических характеристик с верификацией полученных данных.

Достоверность полученных результатов состоит в: обоснованности теоретической базы применением математической модели рекуперации низкопотенциальной теплоты дымовых газов на основе фундаментальных законов теплообмена и аэродинамики; статистической значимостью согласованности моделирования и эксперимента в пределах допустимой погрешности для теплотехнических экспериментов, не превышающей 10 %; аппаратной и методологической верификации на экспериментальном стенде, с соблюдением геометрии конструкции модифицированного теплообменника и рабочих режимов и применением аттестованных средств измерений.

Выводы, предложения и рекомендации подтверждены актами о внедрении в практическую деятельность.

Комплексный характер доказательной базы позволяет утверждать, что сформулированные в диссертационной работе выводы и рекомендации являются обоснованными, достоверными и научно аргументированными.

### **Практическая значимость результатов работы**

1. Предложена технически реализованная и запатентованная конструкция модифицированного теплообменника с когенерационными модулями (патенты РФ № 225005, № 2833444, № 2830924, № 2725303), что позволяет интегрировать рекуператор в существующую систему коаксиального дымоудаления без необходимости модернизации базового дымохода. Это кардинально снижает капитальные затраты и упрощает внедрение технологии рекуперации низкопотенциальной теплоты в действующие котельные и энергоустановки.

2. Предложен алгоритм определения эквивалентного диаметра для рекуператора типа «труба в трубе», получены регрессионные зависимости, предоставляющие основу для достоверного расчета и прогнозирования рабочих параметров установки.

3. Проведенный технико-экономический расчет на примере города Курска показал, что внедрение предлагаемой разработки экономически выгодно. Срок ее окупаемости составляет 6,4 года, что подтверждает перспективность практического использования данного решения в сфере жилищно-коммунального хозяйства и малой энергетики. Результаты работы могут быть использованы для модернизации существующих и проектирования новых энергоэффективных систем утилизации теплоты дымовых газов.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Научные результаты, полученные в ходе теоретического анализа, численного моделирования и натурных экспериментов, изложенные в диссертации, применимы для решения практических задач. Они обеспечивают научно-методическую базу для корректного выбора параметров, проектирования и модернизации коаксиальных рекуператоров, утилизирующих тепло дымовых газов. Разработки предназначены для интеграции в системы децентрализованного теплоснабжения жилых, общественных и промышленных зданий.

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).

### **Замечания по содержанию и оформлению диссертационной работы**

1. Не рассмотрено влияние возможного загрязнения внутренних поверхностей теплообменника продуктами сгорания топлива на эффективность теплопередачи. В реальных эксплуатационных условиях такое загрязнение неизбежно приводит к увеличению термического сопротивления и изменению аэродинамических характеристик каналов.

2. Эффективность работы системы оценивается через традиционный энергетический КПД, суммирующий тепловую и электрическую энергию без учета их разнокачественности. Такой подход не отражает реальной термодинамической ценности полученных энергетических потоков.

3. Исследование выполнено для теплообменника конкретной длины (500 мм) и диаметров (60,3/100 мм). Не рассмотрена проблема масштабирования конструкции для промышленных объектов с существенно большими расходами теплоносителей на основе теории подобия. Неясно, сохранятся ли выявленные закономерности и преимущества при увеличении мощности системы, а также как предложенное решение может быть адаптировано к существующим стандартам на дымоходные системы и теплообменное оборудование, что является критически важным для широкого внедрения.

4. Выбор формы кожуха в виде пентагона обоснован возможностью размещения элементов Пельтье и минимизацией площади сечения. Однако в работе отсутствует прямое количественное сравнение ее тепло- и аэродинамической эффективности с другими возможными формами в рамках заданных габаритных ограничений. Отсутствует доказательство того, что

выбранная форма является оптимальной именно по критерию максимального отношения теплопередачи к аэродинамическим потерям.

5. В экспериментах не фиксировалась и не контролировалась относительная влажность дымовых газов и точка росы. При температурах стенки ниже точки росы возможна конденсация влаги, что приводит к скрытому тепловыделению и искажению результатов теплового баланса.

6. Приведенные в п. 2.2 выкладки тривиальны. Формула (3.33) для расчета теплоусвоения материала ограждающих конструкций при суточном периоде колебаний теплового потока взята из СП 50.13330.2024 «Тепловая защита зданий» и применительно к инженерному оборудованию требует обоснования. При  $D = 0,18$  ограждения относят к классу безынерционных, а не к «легкой массивности», как показано на с. 108. Очень подробно описано построение известных регрессионных моделей. Работа изобилует промежуточными вычислениями, не имеющими самостоятельный интерес.

Указанные замечания не снижают научную и практическую ценность проведенных исследований.

### *Заключение*

Представленная диссертационная работа является законченным научно-квалификационным исследованием, посвященным актуальной проблеме повышения энергоэффективности в системах децентрализованного теплоснабжения.

На основе комплекса теоретических и экспериментальных исследований автором предложены новые технические решения с целью повышения эффективности коаксиального теплообменника для комбинированной утилизации теплоты дымовых газов.

Диссертация выполнена автором самостоятельно, оформлена в соответствии с установленными требованиями. Текст работы изложен

лаконично, научным языком. Представленные графики, диаграммы и иллюстрации отличаются высоким качеством исполнения и наглядностью.

Сформулированные в диссертации научные положения и выводы, выносимые на защиту, обладают научной новизной и оригинальностью. Полученные результаты демонстрируют личный вклад автора в развитие как теоретических основ, так и прикладных аспектов интенсификации процессов теплообмена в каналах со сложной геометрией, содержащих интегрированные когенерационные модули.

Важным достоинством работы является подтвержденная практическая ценность результатов, которые могут быть использованы для проектирования современного теплообменного оборудования.

Диссертационная работа Перепелицы Никиты Сергеевича на тему «Совершенствование теплообменных процессов в рекуперативных системах отведения дымовых газов от водогрейных котлов малой мощности» по специальности 2.1.3 соответствует требованиям оригинальности. Отчет о проверке в системе «Антиплагиат» подтверждает отсутствие неправомерных заимствований.

Основные результаты диссертации опубликованы в 19 научных работах, в том числе в трех статьях в журналах, рекомендованных ВАК РФ. Три статьи проиндексированы в международных базах данных Web of Science и Scopus, получены 4 патента РФ на изобретения.

Научные публикации автора отражают основное содержание работы и выводы по диссертации. Содержание автореферата соответствует диссертационной работе.

Таким образом, диссертация Перепелицы Никиты Сергеевича полностью соответствует требованиям п.п. 9, 10, 11, 13 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 в действующей редакции с изменениями от 25 января

2025 г.) в части требований к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата технических наук.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа соответствует научной специальности 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, обладает научной новизной и практической ценностью, а ее автор Перепелица Никита Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент,  
советник РААСН, доктор технических наук по специальности 05.23.03 – «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение», доцент, зав. каф. «Архитектура зданий и сооружений», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

Корниенко Сергей Валерьевич

«10» февраля 2026 г.

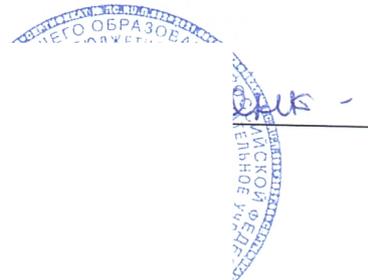
Подпись Корниенко Сергея Валерьевича

удостоверяю:

Ученый секретарь ученого совета ИАиС ВолгГТУ

Савченко Алексей Владимирович

«10» февраля 2026 г.



Почтовый адрес: 400005, г. Волгоград, проспект им. В. И. Ленина, д. 28, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»; тел. (8442) 96-98-16; e-mail: [rector@vstu.ru](mailto:rector@vstu.ru). Научная специальность, по которой защищалась диссертация: 05.23.03 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение».