

## УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной и инновационной  
деятельности ФГБОУ ВО «Белгородский  
государственный технологический

университет им. В. Г. Шухова»

Давыденко Татьяна Михайловна



2023 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» на диссертационную работу Вдовичева Антона Андреевича на тему: «Повышение эффективности пластинчатых рекуператоров систем вентиляции и кондиционирования воздуха», представленную в диссертационный совет 24.2.380.03 при Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.3 – «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение».

### Актуальность темы исследования

Диссертация посвящена рационализации конструкции пластинчатых утилизаторов теплоты систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Одной из ключевых проблем повышения энергоэффективности в строительной отрасли является наличие значительных затрат тепловой энергии на нагревание воздуха системой отопления при неорганизованной приточной вентиляции, а также безвозвратное удаление нагретого вытяжного воздуха.

Применение рекуперативных теплообменников позволяет использовать удаляемый воздух в качестве вторичного энергоресурса, что приводит к сни-

жению потребления теплоты в зданиях различного назначения и экономии энергии.

Важным вопросом является рассмотрение технических решений по рационализации конструкции пластинчатых перекрестно-точных рекуператоров, что обеспечивает повышение количества передаваемой теплоты между потоками воздуха путем изменения конструкции теплообменного аппарата. Модификация рекуператора требует аналитического исследования, связанного с проверкой согласованности данных, получаемых на основе инженерного расчета и математического моделирования, проверки их адекватности. Также актуальным становится вопрос функционирования рекуператоров в условиях формирования зон с отрицательными температурами на поверхности теплообмена, поскольку инееобразование в каналах может привести к поломке оборудования.

### **Структура и содержание работы**

**В первой главе** диссертации выполнен обзор существующих энергосберегающих мероприятий. Приведены результаты отечественных и зарубежных исследований, подтверждающих энергоэффективность применения систем механической вентиляции с утилизацией теплоты. Выполнен анализ систем утилизации теплоты с определением их достоинств и недостатков. Также выполнен анализ технических и эксплуатационных решений, обеспечивающих работу пластинчатых рекуператоров при предотвращении инееобразования на поверхности теплообмена.

**Во второй главе** рассмотрены методики инженерного расчета пластинчатых рекуператоров при перекрестно-точной схеме движения воздушных потоков, приведены зависимости определения конструктивных, теплофизических и безразмерных параметров. На основе CFD-моделирования в программном комплексе ANSYS выполнено исследование влияния детализации расчетной сетки в поперечных и продольных направлениях кассеты рекуператора на точность решения дифференциальных уравнений.

**Третья глава** посвящена экспериментальному исследованию пластинчатого рекуператора. Выполнены лабораторные исследования теплопередачи в перекрестно-точном рекуператоре открытого типа. Разработаны математические модели теплоутилизатора в программе ANSYS с проверкой сходимости данных моделирования и стендовых экспериментов. Получена математическая модель, обеспечивающая адекватное описание теплопереноса между греющей и нагреваемой средой. Получены зависимости расчета температурной эффективности при различных режимах работы исследуемых теплоутилизаторов.

**В четвертой главе** диссертации рассмотрена модернизация конструкции рекуперативного теплообменника путем повышения площади теплообменной поверхности и использования противоточной схемы движения потоков воздуха. Выполнено математическое моделирование совершенствуемых моделей с получением термодинамических показателей эффективности, на основе которых предложена конструкция перекрестно-точного рекуператора, обеспечивающая интенсификацию теплопереноса при незначительном росте аэродинамического сопротивления. Рассмотрены особенности формирования зоны отрицательных температур в рекуператорах при изучении различных моделей влажного воздуха, а также предложено техническое решение по обеспечению режима работы устройства при предотвращении инееобразования на поверхности теплообмена.

### **Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность научных положений, достоверность выводов и рекомендаций не вызывает сомнений. Степень достоверности результатов обеспечена использованием фундаментальных научных положений и законов теплообмена и аэродинамики в теплообменных аппаратах; использованием современных средств измерений и прикладных программ и обусловливается удовлетворительной сходимостью результатов расчетов, моделирования и экспериментальных исследований.

### **Научная новизна:**

– подтверждена адекватность модели пластинчатого рекуператора с применением периодических граничных условий и модели турбулентности SST k- $\omega$ ;

– получена зависимость числа Нуссельта от числа Рейнольдса для перекрестно-точных рекуператоров, обеспечивающая сходимость результатов моделирования, инженерного расчета и экспериментальных исследований;

– получена зависимость температурной эффективности от числа Рейнольдса для пластинчатого рекуператора теплоты открытого типа;

– получены зависимости температурного коэффициента эффективности от модифицированного критерия Фурье; от отношения водяных эквивалентов для перекрестно-точных рекуператоров;

– с помощью моделирования выявлены зоны конденсации и инееобразования на пластине рекуператора при совершенствовании конструкции теплообменной поверхности.

### **Научная и практическая ценность диссертации:**

– доказана возможность применения упрощенной математической модели для адекватного описания процессов теплопереноса и газодинамики в каналах рекуператора;

– приведены зависимости температурных коэффициентов эффективности от модифицированного критерия Фурье и числа Нуссельта при перекрестно-точной схеме движения воздушных потоков;

– разработана компьютерная программа инженерного расчета рекуператоров перекрестно-точного типа, учитывающая наличие дополнительного оребрения, соотношение водяных эквивалентов и теплофизические характеристики воздушных потоков;

– разработаны конструктивные решения, обеспечивающие повышение теплопереноса и защиту от инееобразования.

## **Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки**

Результаты исследования являются значимыми для развития указанной специальности в связи с тем, что выбранная для диссертации тема является актуальной, все теоретические и практические выводы обоснованы соискателем в научном и прикладном плане, а примененные инструменты и средства апробированы в достаточной степени.

## **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Результаты исследования могут быть использованы при выполнении инженерных расчетов и математического моделирования перекрестно-точных рекуператоров теплоты, что подтверждается соответствующими актами внедрения. Также определенную ценность составляют результаты CFD-моделирования формирования зон конденсации и инееобразования для рекуператоров различных размеров.

### **Замечания**

1. Недостаточно выражено практическое значение предлагаемых результатов исследований: 1 глава посвящена состоянию технологий энергоэффективности инженерных систем и определению затрат на тепловую энергию. Однако в последующих главах не определен вклад предложений автора в энергоэффективность.

2. В четвертой задаче указано: разработать схему и модернизировать лабораторную установку... Схему чего? В заключении к диссертации отсутствует какое-либо упоминание об разработанной схеме.

3. Неточности в формулировках критерия Нуссельта (с.56). Видимо это позволило сократить  $Pr(ж)$  и  $Pr(ст)$  в формуле 2.24, в результате чего  $Nu=4$ , как по нагреваемой, так и греющей среде. Но не приводит ли это к равенству температур с обеих сторон?

4. Не приводятся условия и ограничения расчетных формул для безразмерных критериев, в частности  $Nu$ . В тексте приведены только ссылки на

источники, но для эмпирических формул теории подобия крайне важны геометрическое, гидродинамическое и другие подобия. Например, на с.89 указано, что величина  $Re$  для исследуемых моделей не превышает критического значения, однако, чему оно равно для данного теплогидродинамического процесса не сказано.

5. Было бы целесообразно указать начальные и граничные условия для математических моделей, рассмотренных во второй главе, условия проведения исследований и проверки на адекватность предлагаемых моделей.

В таблице 2.1 на странице 50 в перечне допущений численного эксперимента отсутствуют конкретные значения параметров, например, скорость потока. При проведении численного эксперимента представляет интерес значение давления при которой происходит эксплуатация пластинчатого рекуператора. При проведении экспериментальных исследований целесообразно указать материал пластин.

6. Отсутствует подробное описание исходных данных, принятых в компьютерном моделировании с помощью программного комплекса «Ansys».

7. На стр. 80 в диссертации сказано, «что для таких 3D-объектов с треугольными основаниями, невозможно построить регулярную сетку с элементами гексаэдрального и призматического вида». Данное утверждение является неверным. Для решения данной проблемы можно воспользоваться инструментом - ANSYS ICEM CFD.

8. Предусмотрено ли в программе расчета пластинчатого рекуператора наличие обратных связей?

9. Во второй главе много ссылок на обзорную литературу. Целесообразно рассмотреть существующие алгоритмы и решения, в первой главе. Причем в качестве источников целесообразнее использовать релевантные научные труды, а не учебные пособия, которых в списке не менее 12.

10. Выводы к главам и заключение содержат общие формулировки, без конкретных данных.

Отмеченные недостатки не снижают в целом положительной оценки представленной на отзыв диссертационной работы.

### **Заключение**

Диссертационная работа выполнена на высоком научном и методическом уровне, написана технически грамотным языком с соблюдением правил стилистики. Выводы по диссертации в полной мере соответствуют поставленным целям и задачам. Основные этапы работы, результаты и выводы представлены в автореферате. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Представленные в диссертации материалы достаточно полно отражены в 7 публикациях, в том числе 4 статьи в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ, 1 статья в издании, входящем в базу данных SCOPUS и 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Диссертационная работа Вдовичева Антона Андреевича «Повышение эффективности пластинчатых рекуператоров систем вентиляции и кондиционирования воздуха» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические решения пластинчатых воздухо-воздушных перекрестно-точных рекуператоров, внедрения которых вносит значительный вклад в развитие строительной отрасли страны.

По актуальности, новизне и практической значимости проведенных исследований работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 с изм. от 11.09.21 №1539), а ее автор Вдовичев Антон Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.3 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение».

Отзыв на диссертацию рассмотрен на заседании кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» «26» октября 2023 года, протокол № 3.

На заседании кафедры присутствовали 22 человека. Результаты кафедры: «за» 22, «против» - 0, «воздержались» - 0.

Зав. кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,  
доктор технических наук, профессор

 Уваров Валерий Анатольевич

Адрес: 308012, г. Белгород, ул Костюкова, д.46,  
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»  
Тел. 8(4722) 54-20-87  
E-mail: rector@intbel.ru  
Сайт: <https://www.bstu.ru>

Личную подпись Уварова В.А. заверяю  
Ученый секретарь ученого совета  
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»  
доктор технических наук, профессор



 Т.А. Дуюн