

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.380.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 12.12.2023 г. № 7

О присуждении Вдовичеву Антону Андреевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение эффективности пластинчатых рекуператоров систем вентиляции и кондиционирования воздуха» по специальности 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение принята к защите 25.09.2023 г., протокол заседания № 4, диссертационным советом 24.2.380.03, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, почтовый индекс 190005, адрес организации г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4, утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 09 ноября 2012 года № 717/нк, приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 25 мая 2016 года № 590/нк, приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 19 декабря 2017 года № 124/нк, приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 30.01.2019 года № 37/нк, приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 27.01.2020 года № 35/нк, приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 18 ноября 2020 года № 681/нк, приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24 сентября 2021 года №

968/нк, приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 27 ноября 2023 года № 2153/нк.

Соискатель Вдовичев Антон Андреевич, «16» мая 1995 года рождения.

В 2019 году окончил магистратуру ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по специальности «Строительство», присвоена квалификация «Магистр».

В период подготовки диссертации с 01.09.2020 г. по настоящее время соискатель Вдовичев Антон Андреевич обучается в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по направлению подготовки 08.06.01 «Техника и технологии строительства» по образовательной программе «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» на кафедре теплогазоснабжения и вентиляции.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов № 320 от 07.06.2023 г. выдана федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

С 19.10.2020 г. по настоящее время работает в должности инженера-проектировщика 1 категории в Северо-Западном филиале ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ», г. Санкт-Петербург.

Диссертация выполнена на кафедре теплогазоснабжения и вентиляции ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, Уляшева Вера Михайловна, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», кафедра теплогазоснабжения и вентиляции, профессор.

Официальные оппоненты:

Сулин Александр Борисович, доктор технических наук, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», г. Санкт-Петербург, образовательный центр «Энергоэффективные инженерные системы», профессор;

Зиганшин Арслан Маликович, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», кафедра «Информационные системы и технологии в строительстве», заведующий кафедрой

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород, в своем положительном отзыве, подписанном Уваровым Валерием Анатольевичем (доктор технических наук, профессор, кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция», заведующий кафедрой), указала, что 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 завершенную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические решения пластинчатых воздухо-воздушных перекрестно-точных рекуператоров, внедрение 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».

Соискатель имеет 7 опубликованных работ по теме диссертации, из которых 4 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, и 1 статья в издании, индексируемом в базе данных Scopus. Общий объем работ – 5,0 п.л., личный вклад – 4,44 п.л. Общий объем работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 3,88 п.л., личный вклад – 3,56 п.л.

Работы, опубликованные в ведущих научных рецензируемых изданиях, перечень которых размещён на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии и приравненные к ним:

1. Вдовичев, А.А. Особенности численного моделирования пластинчатого перекрестно-точного рекуператора воздуха [Электронный ресурс] / А. А. Вдовичев // Вестник евразийской науки. – 2021. – Т. 13. – №5. – Режим доступа: esj.today/PDF/32SAVN521.pdf (авторский вклад 100%).

2. Вдовичев, А.А. Численное исследование теплопереноса и аэродинамики в перекрестно-точном рекуператоре открытого типа [Электронный ресурс] / А. А. Вдовичев // Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14. – №2. – Режим доступа: esj.today/PDF/21ECVN222.pdf (авторский вклад 100%).

3. Вдовичев, А.А. Расчет температурной эффективности перекрестно-точных рекуператоров воздуха [Текст] / А. А. Вдовичев, В. А. Пухкал, В. М. Уляшева // Строительство и техногенная безопасность. – 2022. – S1. – С. 81–90. (0,6 п.л., авторский вклад 50%).

4. Вдовичев, А.А. К вопросу определения температурной эффективности пластинчатых перекрестно-точных рекуператоров воздуха [Электронный ресурс] / А. А. Вдовичев // Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14. – №5. – Режим доступа: esj.today/PDF/36SAVN522.pdf (авторский вклад 100%).

5. Vdovichev, A.A. Peculiarities of thermal calculation of cross-flow plate air recuperators [Electronic resource] / A. A. Vdovichev // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. – 2023. – Vol. 1171. – №1. – URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1171/1/012020/pdf (авторский вклад 100%).

Работы, опубликованные в других изданиях:

6. Вдовичев, А.А. Современные способы повышения интенсивности теплопередачи в пластинчатых воздухо-воздушных рекуператорах / А. А. Вдовичев, В. М. Уляшева // Материалы XX Международной научной конференции «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды». – Волгоград: Волгоградский государственный медицинский университет, 2022. – С. 137–142. (0,3 п.л., авторский вклад 50%).

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023611622 Российская Федерация. Программа теплового расчета пластинчатого перекрестно-точного рекуператора воздуха / А. А. Вдовичев; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет». – № 2023611622; заявл. 11.01.2023; опубл. 23.01.2023. – 1 с.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1) ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», заведующий кафедрой теплогазоснабжения, член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор **Кочев Алексей Геннадьевич**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

- В автореферате не полно представлено описание обработки результатов лабораторных экспериментов;

- Отсутствует алгоритм вычислительной программы для расчета и подбора пластинчатых рекуператоров.

2) ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», кандидат технических наук, доцент **Белова Елена Михайловна.**

Отзыв положительный, имеются замечания:

- Автор использует термин «модифицированный критерий Фурье», предложенный Богословским В.Н., тогда как в международной практике этот безразмерный комплекс принято называть The number of transfer units (NTU), что в переводе означает «число единиц переноса теплоты»;

- Не указано, какой критерий Re : по наружному или удаляемому воздуху рассматривается в качестве абсциссы в графических зависимостях на рис.11 и рис.12;

- Полученные в ходе исследования интересные результаты, а именно графики зависимости температурной эффективности θ_t и потерь давления в канале $\Delta P_{кан}$, а также коэффициента использования энергии η_o от объемного расхода воздуха для модифицируемых моделей и базовой геометрии кассеты теплоутилизатора, представленные на рис.16, не нашли отражения в выводах автореферата.

3) ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток, директор Департамента Энергетических систем, доктор технических наук, профессор **Штым Константин Анатольевич**; профессор Департамента Энергетических систем, кандидат технических наук, доцент **Черненко Владимир Петрович.**

Отзыв положительный, имеются замечания:

- В автореферате не приведены сведения о внедрении работы;

- В автореферате приведена информация о разработанной программе теплового расчета пластинчатого перекрестно-точного рекуператора (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023611622), но нет описания программы;

- Для борьбы с инееобразованием при использовании рекуператоров открытого типа с небольшими габаритами и площадью поверхности теплообмена при температурах наружного воздуха в диапазоне от минус 5 до минус 10 °С рекомендуется применение одностворчатого клапана. Однако не приведены меры борьбы с инееобразованием при более низких температурах воздуха на входе в теплообменник и для других конструкций пластинчатых утилизаторов.

4) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», доцент кафедры «Энергоснабжение, теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция», кандидат технических наук, доцент **Гвоздков Александр Николаевич.**

Отзыв положительный, имеются замечания:

- Из автореферата неясно, учитывается ли в программе теплового расчета выделение теплоты фазового перехода;

- В работе следовало бы рассмотреть способ рационализации конструкции рекуператора путем установки дополнительного оребрения, образующего прерывистые поверхности, как по всему объему, так и в области максимального перепада температур.

5) ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», заведующий кафедрой теплогазоснабжения и нефтегазового дела, кандидат технических наук, доцент **Тульская Светлана Геннадьевна;** доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, кандидат технических наук, доцент **Китаев Дмитрий Николаевич.**

Отзыв положительный, имеются замечания:

- На с. 12 указана начальная температура наружного воздуха $t_{н1} = -5$ °С, чем обоснована такая температура;

- В расшифровке к формуле (3) ошибочно указан коэффициент теплопроводности вместо теплопередачи;

- С.21. Чем обоснован диапазон относительной влажности удаляемого воздуха от 35 до 45% при моделировании процесса выпадения конденсата, тогда как это значение может быть значительно больше;

- Отсутствует экономическое обоснование использования рекуператора. Не понятно, какое конкретно инженерное решение рекомендует автор к внедрению, в каких зданиях и при каких условиях оно наиболее эффективно.

6) ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», г. Улан-Удэ, заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение, вентиляция и управление недвижимостью», кандидат технических наук, доцент **Аюрова Оюна Бадмацыреновна**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

- Учитывается ли при моделировании процессов теплопередачи и конденсации водяного пара термическое сопротивление слоя воды на пластине рекуператора;

- Из автореферата неясно, учитывается ли дополнительный нагрев воздуха в вентиляторе при осуществлении экспериментальных исследований и обработке данных.

7) ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, кандидат технических наук, доцент **Жерлыкина Мария Николаевна**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

- На рисунках 3, 4, 5, 6, 10 представлены граничные условия, применяемые к граням двухканальной модели при различных особенностях геометрии. Не ясен диапазон скоростей удаляемого и наружного воздуха на входе в кассету рекуператора, а также давления на выходе из него;

- На странице 12 представлены результаты математического моделирования, однако не ясен скоростной режим в потоке, при котором

определялись значения числа Рейнольдса и сделаны выводы о целесообразности решения;

- На странице 17 приведено, что в ходе математического моделирования найденные значения теплопередачи превышают предельные значения для воздухо-воздушных теплообменников при числе Нуссельта, равному значению для щелевых каналов. Таким образом, не ясно, каким образом решена задача по соответствию математической модели критериальному уравнению.

8) ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и инженерные системы в строительстве», доктор технических наук, профессор **Цветков Николай Александрович**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

- В описании методологической основы диссертационного исследования на странице 4 автореферата упущено слово «число» перед фамилией Рейнольдс;

- В формулировке пункта 1 научной новизны словосочетание «лабораторного и» является лишним, поскольку достаточность применения периодических граничных условий и модели турбулентности SST k- ω не может использоваться для оценки адекватности результатов лабораторного исследования, адекватность которого базируется на оценке погрешностей измерений.

9) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Барнаул, и. о. заведующего кафедрой «Инженерные сети, теплотехника и гидравлика», кандидат технических наук, доцент **Логвиненко Владимир Васильевич**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

- Желательно увеличить значения влажности воздуха в расчетах по рисунку 18 «Зоны отрицательных температур и конденсации водяного пара» до 60% ввиду осеннего и весеннего периодов.

10) ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», кандидат технических наук, доцент **Морозов Антон Юрьевич**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

- В выводе 7 указано, что «учет водяного пара в потоке удаляемого воздуха совместно с механизмом конденсации обеспечивают дополнительный теплоприток». В связи с этим выводит автор целесообразность применения параметра энтальпийной эффективности рекуператора ($\theta_1 = G_n(I_{n2} - I_{n1}) / (G_{min}(I_{y2} - I_{n1}))$) вместо температурной эффективности (формула 1, стр.11 автореферата);

- В выводе 8 указано, что применение одностворчатого клапана для борьбы с инееобразованием допускается для рекуператоров небольшими габаритами и площадью поверхности теплообмена. Каким образом автор пришел к этому выводу? При каких величинах площади поверхности теплообмена, м², применение указанного клапана нецелесообразно?

11) ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», кандидат технических наук, профессор **Малявина Елена Георгиевна**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

- В первом выводе перечислены составляющие комплексного анализа современного состояния теплоутилизационного оборудования, а не его результаты;

- Нет рекомендаций по эксплуатации систем с пластинчатыми рекуператорами теплоты при температуре наружного воздуха ниже -10 °С.

12) ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», доцент кафедры «Урбанистика и инженерные системы», кандидат технических наук, доцент **Старкова Лариса Геннадьевна**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

- Из текста автореферата неясно как получены алгебраические уравнения (3) и (4) зависимости температурного коэффициента θ , эффективности от модифицированного критерия Фурье, а также выражение (5) для определения поправочного коэффициента ϵ_i ;

- В автореферате не приведено описание и алгоритм зарегистрированной программы ЭВМ для теплового расчета пластинчатого перекрестно-точного рекуператора;

- Отсутствуют данные о практическом внедрении результатов работы.

13) ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», доцент кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция и водоснабжение, водоотведение», кандидат технических наук, доцент **Гришков Алексей Александрович**; доцент кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция и водоснабжение, водоотведение», кандидат технических наук, доцент **Бурков Александр Иванович**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

- Рисунок 1, – Общий вид экспериментальной установки (с.8). Позволяет ли плотность компоновки установки обеспечить точность измерения расходов воздуха (секции «а» и «г»). Традиционно рекомендуемые расстояния установки измерительных приборов после аэродинамических сопротивлений (дрессельных устройств, поворотов, отводов) составляют 5-6 калибров. Соблюдаются ли эти расстояния, из фото неясно;

- В эксперименте отсутствуют данные по измеренной влажности воздуха, в установке такой секции нет;

- С.3, абз.2: «...безвозвратное удаление нагретого вытяжного воздуха является существенным недостатком, препятствующим значительному снижению теплопотребления и экономии энергии». Имеется в виду удаление воздуха без отбора теплоты, содержащейся в нём или другое.

14) ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет», доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, кандидат технических наук, доцент **Рафальская Татьяна Анатольевна**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

- В формулах (2.5), (2.10) и далее k – это не коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°C), а коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C);

- На рис. 2.5, стр. 60, видно, что средняя температура, как наружного, так и удаляемого воздуха, выравнивается только для сетки с числом ячеек в продольном направлении 200-250. Почему выбрано «оптимальное» число ячеек $n_{\text{прод}} = 100$;

- На рис. 2.9, стр. 67, приведено сопоставление данных инженерного расчета и математического моделирования. Режим движения воздуха, судя по таблице 2.6, был ламинарным. Почему сопоставлялись результаты инженерного расчета в ламинарном режиме (через число Нуссельта) с результатами моделирования турбулентного режима (модель турбулентности k - ω SST предназначена для моделирования развитых турбулентных течений с отрывом потока)? То же самое далее, в главе 3.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью в научной и образовательных средах, в исследуемой предметной области, наличием опубликованных статей в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, а также способностью определить научную и практическую значимость исследования, спецификой и актуальностью их основных научных работ.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны научно обоснованные технологические решения, способствующие повышению эффективности процессов теплообмена в перекрестно-точном пластинчатом воздухо-воздушном рекуператоре. Предложена конструкция рекуператора с дополнительным оребрением в

области максимального температурного напора и установкой одностворчатого клапана. Применение конструкции утилизатора теплоты открытого типа позволяет увеличить степень турбулизации воздушных потоков, повысить интенсивность процесса теплообмена и исключить зону инееобразования;

предложена научная гипотеза интенсификации процесса теплообмена в области максимального температурного напора утилизаторов теплоты рекуперативного типа с целью повышения эффективности, надежности эксплуатации и исключения инееобразования;

доказана перспективность использования дополнительного ребрения в области максимального температурного напора на теплопередачу между воздушными потоками рекуператора, а также возможность использования одностворчатого клапана, обеспечивающего работу утилизатора теплоты открытого типа в режиме без инееобразования;

введены зависимости температурного коэффициента эффективности от модифицированного критерия Фурье, соотношения водяных эквивалентов и площади поверхности теплообмена для теплоутилизаторов перекрестно-точного типа с учетом геометрических особенностей предлагаемого устройства.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения, устанавливающие экспериментальные зависимости температурного коэффициента эффективности от числа Рейнольдса для пластинчатого рекуператора теплоты открытого типа и числа Нуссельта от числа Рейнольдса для перекрестно-точных пластинчатых рекуператоров. Выведена зависимость температурного коэффициента эффективности от модифицированного критерия Фурье и отношения водяных эквивалентов для перекрестно-точной схемы движения воздушных потоков в пластинчатых рекуператорах различных типоразмеров;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс современных методов исследования и стандартных методик,

который позволил определить конструктивные размеры пластинчатого перекрестно-точного рекуператора с модифицированной теплообменной поверхностью;

изложены: методика построения упрощенной математической модели рекуператора, применяемого в лабораторной установке, и математической модели, описывающей процессы выпадения конденсата в канале удаляемого воздуха рекуператора с образованием жидкой пленки и выделением теплоты фазового перехода; методы получения экспериментальных зависимостей температурного коэффициента эффективности от модифицированного критерия Фурье и отношения водяных эквивалентов для перекрестно-точных теплоутилизаторов различных размеров;

раскрыто влияние степени детализации расчетной сетки на точность решения используемых уравнений теплопереноса и аэродинамики;

изучены принципы моделирования конструкции кассеты рекуператора с использованием модели турбулентности SST $k-\omega$ и периодических граничных условий, которые обеспечивают точность описания процессов теплопереноса и аэродинамики, закономерности влияния дополнительного оребрения и установки одностворчатого клапана на температурный коэффициент эффективности процесса теплопередачи;

проведена модернизация и совершенствование процессов утилизации вентиляционных выбросов с использованием пластинчатых рекуператоров для подогрева приточного воздуха без образования зоны конденсата.

Значения полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработана и внедрена инженерная методика, алгоритм и программа теплового расчета пластинчатого перекрестно-точного рекуператора (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023611622) в практику проектирования в рабочей документации на объекте строительства ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ», что подтверждено актом о внедрении. Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе на

кафедре «Теплогазоснабжение и вентиляция» в лекционных курсах, практических занятиях и курсовом проектировании при изучении дисциплин «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» (направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника), «Специальные разделы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха» (направление подготовки 08.04.01 Строительство) ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»;

определены технические характеристики предлагаемого пластинчатого рекуператора с модифицированной теплообменной поверхностью, обеспечивающей повышение эффективности процесса утилизации теплоты, и установкой одностороннего клапана, позволяющей исключить инееобразование на теплообменной поверхности;

созданы конструкция и методика расчета пластинчатого рекуператора, обеспечивающего повышенную эффективность и защиту от инееобразования (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023611622);

представлены рекомендации построения математических моделей пластинчатых рекуператоров с использованием модели турбулентности SST $k-\omega$ и периодических граничных условий, которые могут быть использованы для исследований процессов тепломассообмена и аэродинамики в теплообменниках различного типа.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ использовались современные высокотехнологичные установки, методы исследований и испытаний, регламентированные отечественными нормативными документами, с применением современных поверенных средств измерений; численные методы с применением программных комплексов и с учетом известных классических работ по тепломассообмену и аэродинамике, позволившие получить обоснованные и достоверные результаты;

теория основана на применении общепринятых научных подходов физико-математического описания процесса тепломассопереноса и аэродинамики в теплообменниках, теории подобия, методов численного моделирования; результаты согласуются с опубликованными данными экспериментальных исследований, полученными соискателем и другими авторами;

идея базируется на проведенном аналитическом обзоре научно-технической литературы, обобщающем фундаментальные и прикладные исследования отечественных и зарубежных ученых в области тепломассообмена, посвященных способам интенсификации тепломассообменных процессов в пластинчатых рекуператорах систем вентиляции и кондиционирования воздуха;

использованы данные лабораторных экспериментов, результаты научных исследований, полученные российскими и зарубежными учеными;

установлена согласованность результатов лабораторных исследований, математического моделирования и инженерного расчета;

использованы современные методики проведения исследований с использованием поверенных средств измерений, сбора и статистической обработки данных при экспериментальных исследованиях пластинчатого рекуператора с модифицированной теплообменной поверхностью, сопровождаемые достаточным количеством параллельных испытаний.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии автора на всех этапах исследования; в постановке задач диссертационного исследования и их решении; в исследовании и обобщении теоретических и экспериментальных материалов по теме; в модернизации лабораторной установки и проведении экспериментальных исследований с обработкой полученных данных; разработке математических моделей; формулировании выводов и методик, подготовке научных публикаций и программы для ЭВМ по теме диссертации.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Сейчас основное внимание уделяется качеству воздуха. Как обеспечивается чистота воздуха, и для каких помещений используются эти аппараты?

2. Вы сказали, что разработали методику расчета и модернизировали конструкцию рекуператора. Скажите, пожалуйста, эта конструкция где-то применялась уже и есть какое-то внедрение или пока это только опытный образец?

3. Программа расчета использовалась для подбора рекуператора модернизированного по вашему предложению или моделей уже известных?

4. Расскажите поподробнее, как вы ухитрились выполнить моделирование инееобразования, какая модель инееобразования? У вас есть фазовый переход – сначала выпадает конденсат, затем образуется иней, в результате у вас меняется сопротивление – как все это учитывается? Какие модели вы использовали?

5. Т.е. я правильно понял, что изменение термического сопротивления стенки учитывалось?

6. Скажите, пожалуйста, на слайдах 11, 12, 14, 16 что означают точки, это опытные точки?

Соискатель Вдовичев А.А. ответил на задаваемые в ходе заседания вопросы и привел следующую аргументацию:

1. Данная система утилизации тепловой энергии используется для помещений с отсутствием жестких требований по качеству воздуха, т.е. используется приточно-вытяжная вентиляция, в которой применяются фильтры, обеспечивающие очистку воздуха, который поставляется в помещения. Непосредственно в рекуператоре отсутствует контакт между греющим и нагреваемым теплоносителем. Т.е. если мы удаляем воздух из помещения, он никак не смешивается с наружным воздухом, и контакта между ними нет.

2. К сожалению это пока только опытный образец, однако, формируется пакет документов, который будет направлен в Роспатент для

получения патента на полезную модель. По поводу методики, методика была использована в инженерном расчете: использовалась разработанная программа, на которую получено свидетельство о государственной регистрации для ЭВМ. Эта программа использовалась при проектировании систем вентиляции, для подбора рекуператора.

3. Да, при рассмотрении различных моделей: как модернизированной, так и при использовании типовых решений.

4. Моделирование осуществлялось с использованием модели турбулентности SST k- ω . Первоначально использовался стационарный режим – модель переноса тепловой энергии, без выпадения конденсата. Далее подключалась модель формирования пленки конденсата, и определялся отрицательный диапазон температур на пластине теплообмена. Было выполнено моделирование конденсации без дальнейшего перехода конденсата в твердую фазу. При выполнении моделирования были получены зоны конденсации (распределение температур ниже температуры точки росы) и область отрицательных температур. Конденсат, который формируется при использовании модели Эйлеровской пленки, обеспечивает дополнительный теплоперенос. Т.е. учитывалось выделение теплоты фазового перехода и дополнительное сопротивление образующегося слоя.

5. Конечно.

6. Это точки, полученные при выполнении численного моделирования и при выполнении инженерного расчета для расходов от 100 до 350 м³/ч для модели 400*400 мм – графики «а» для 24 и 25 рисунка. Данные точки равны заданным значениям расхода, по которым были определены числа Рейнольдса.

На заседании 12 декабря 2023 года диссертационный совет принял решение за новые научно обоснованные технические решения по совершенствованию конструкции и режимов работы перекрестно-точного рекуператора, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие

строительной отрасли страны, присудить Вдовичеву Антону Андреевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 7 докторов наук по специальности 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 12, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Дацюк Тамара Александровна

Пухкал Виктор Алексеевич

«12» декабря 2023 года