

Отзыв официального оппонента

доктора технических наук Сулина Александра Борисовича
на диссертацию Вдовичева Антона Андреевича
«Повышение эффективности пластинчатых рекуператоров систем
вентиляции и кондиционирования воздуха»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.1.3. – Теплоснабжение, вентиляция,
кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

Актуальность темы диссертации

В диссертационном исследовании развивается одно из перспективных направлений повышения энергоэффективности зданий и сооружений, а именно, - утилизация низкопотенциальной теплоты вентиляционных выбросов. Растущие потребности в энергии и использование ископаемого топлива представляют серьезную угрозу в связи с изменением климата из-за выбросов парниковых газов, таких как CO₂. В 2021 году выбросы от отопления зданий выросли на 5,5 %, при этом 80 % роста приходится на строительный сектор. В качестве источника низкопотенциальной теплоты особо следует выделить теплоту вытяжного воздуха. Как показано во многих исследованиях этот ресурс может покрывать от 30 % до 50 % потребности в тепле для жилых многоквартирных домов. В связи с тем, что, как установлено, в настоящее время имеется значительное преобладание потерь теплоты при неорганизованном воздухообмене и затрат на нагрев воздуха в системе приточной вентиляции, тема диссертационного исследования является актуальной.

Новизна исследования и полученных результатов диссертации

В качестве объекта исследования в результате технико-экономического анализа выбраны пластинчатые теплообменники с перекрестным движением теплоносителей. Аппараты такого типа, несмотря на несколько меньшую эффективность по сравнению с противоточными, обладают важными для практического применения конструктивными, массогабаритными и стоимостными преимуществами. Для углубленного исследования процессов тепломассопереноса в данных аппаратах автор использует современные

инструменты вычислительного моделирования, методы инженерного расчета и, что важно отметить, практику натурного эксперимента. Для оценки адекватности лабораторного и численного исследований обоснованы модели турбулентности и методология построения граничных условий, установлены экспериментальные зависимости для безразмерных критериев и обеспечена согласованность данных моделирования, инженерного расчета и результатов экспериментальных исследований.

По полученным результатам исследования следует отметить полученные новые данные по процессам влаговыведения и инееобразования в пластинчатых рекуператорах, что позволило автору предложить конструктивные решения, снижающие риск возникновения этих негативных явлений.

Значимость для науки и практики полученных результатов

С научной и практической точек зрения можно выделить следующие наиболее значимые положения:

- исследования и рекомендации в части сходимости сеточного решения, которые обеспечивают достаточную точность расчетов при минимизации вычислительных ресурсов;
- разработка инженерной методики расчета рекуператоров на базе полученных автором критериальных уравнений и расчетных выражений для коэффициента температурной эффективности;
- обоснованные конструктивные решения теплообменных аппаратов, обеспечивающих повышение температурной эффективности при незначительном росте аэродинамического сопротивления;
- обоснование области эффективного применения одностворчатых клапанов для борьбы с инееобразованием в каналах.

Обоснованность и достоверность основных положений, результатов и выводов диссертации

Методологической основой диссертационного исследования являются теоретические положения физико-математического описания процессов тепломассообмена и аэродинамики в пластинчатых рекуператорах на основе одномерного переноса и уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу. Достоверность результатов исследования доказана сходимостью данных математического моделирования, теплового расчета и стендового эксперимента.

Оценка содержания диссертации, ее завершенности в целом, замечания по оформлению

Диссертационная работа структурно оформлена в виде введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений.

Первая глава представляет собой квалифицированно выполненный обзор современного научно-информационного поля в области знаний «Энергосбережение в системах вентиляции и кондиционирования воздуха». Следует положительно отметить, что материал тщательно структурирован, начиная с экономических и нормативных положений, в направлении технических решений, тепловых схем и конструктивных особенностей утилизаторов теплоты вытяжного воздуха. Логичным завершением данного раздела является конкретизация объекта исследования как пластинчатого воздухо-воздушного теплоутилизатора с перекрестным движением теплоносителей и с акцентом на решение проблемы инееобразования в каналах.

Во второй главе подробно рассмотрены теоретические вопросы численного и инженерного расчета пластинчатых перекрестно-точных рекуператоров. Подробно анализируются особенности вычислительного CFD моделирования, включая построение геометрической модели, принимаемые допущения, характеристики граничных условий, генерирование расчетной сетки и точность получаемого решения. В части построения методики инженерного расчета рассматриваются температурные коэффициенты эффективности по наружному и удаляемому воздуху, отношение водяных эквивалентов потоков, число единиц переноса NTU, аэродинамическое сопротивление и другие параметры процесса. Обосновывается минимально необходимое разбиение расчетной сетки.

В третьей главе выполнена верификация результатов математического моделирования и инженерного расчета. При этом используются как результаты стендового эксперимента, так и данные производителя рекуператора. Верификация выполнена для трех упрощенных моделей с сохранением геометрических особенностей конструкции. Следует положительно отметить, что на базе полученных в данном разделе результатов разработана и зарегистрирована расчетная программа.

Четвертая глава диссертации посвящена обоснованию путей повышения эффективности пластинчатых теплоутилизаторов с конкретными примерами модификации конструкции аппарата открытого типа. Рассмотрены следующие схемы модификаций рекуператора: модель

уменьшения канала, модель с оребрением, модель с оребрением в области максимального температурного напора, модель уменьшения толщины канала при противотоке. Установлено, что во всех случаях модификации конструкции рекуператора наблюдается повышение температурной эффективности. Наибольший рост значений данного параметра наблюдается при увеличении количества каналов как для модели перекрестно-точного, так и противоточного типа. В заключении подробно исследованы особенности моделирования в наиболее сложном режиме синееобразованиями выпадением конденсата на поверхности пластин рекуператоров со стороны удаляемого воздуха. Рассмотрены углы поворота одностворчатых клапанов, обеспечивающих обтекание потока воздуха в обход зоны отрицательных температур. Обоснованы геометрические и температурные ограничения применения одностворчатого клапана с целью перераспределения потока в обход «холодного угла».

Основные результаты диссертационной работы опубликованы автором в научной печати. Расчетная программа имеет государственную регистрацию.

Содержание автореферата отражает основные положения диссертации. Работа хорошо структурирована и аккуратно оформлена.

Вопросы и замечания

1. При обосновании актуальности тем исследования автор указывает на важность применения устройств теплорекуперации в системах механической вентиляции. Следует говорить более широко: об устройствах теплоутилизации, поскольку рекуператоры являются лишь одним из классов устройств утилизации теплоты.
2. При анализе энергосберегающих мероприятий не указаны системы вентиляции с регулированием по потребности (DCV системы).
3. Нельзя согласиться с предложением автора при анализе данных рисунка 3.30, что подстановка общей поверхности теплообмена позволяет сократить погрешность расчета. Практически это означает удвоение площади теплопередающей поверхности теплообменника.
4. Использование автором понятия «модифицированный критерий Фурье» вместо числа единиц переноса NTU требует более убедительного обоснования в связи с тем, что по физическому смыслу данные безразмерные параметры существенно отличаются.

5. В пояснениях к формуле (8) автореферата коэффициент теплопередачи ошибочно назван коэффициентом теплопроводности.

Заключение

Диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы и достоверны. В диссертационной работе содержится решение задачи по повышению эффективности конструкции перекрестно-точных пластинчатых воздухо-воздушных рекуператоров, а также обеспечения режима работы без инееобразования на поверхности теплообмена, имеющей значение для развития систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Положения, сформулированные в диссертации, можно квалифицировать как научное достижение в области специальности 2.1.3. - Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.

Диссертационная работа Вдовичева Антона Андреевича «Повышение эффективности пластинчатых рекуператоров систем вентиляции и кондиционирования воздуха» соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 с изм. от 11.09.21 №1539), а соискатель заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.3. – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.

Официальный оппонент
профессор образовательного центра
«Энергоэффективные инженерные системы»
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
университет ИТМО»
доктор технических наук

Подпись
удостоверяю
Менеджер ОПС



Сулин А.Б.
16.11.2023

Почтовый адрес: 191002, г. Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, д. 9, кабинет 1205. Тел.: +7 (812) 480-06-55. Эл. почта: absulin@itmo.ru