

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и  
международной деятельности ФГБОУ ВО  
«Юго-Западный государственный  
университет»



Е.Г. Пахомова

« 14 »

май

2024 г.

### **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Юго-Западный государственный университет» на диссертационную работу **Тимофеева Александра Васильевича** на тему: **«Повышение эффективности теплообменников с тепловыми трубами для 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 диссертации**

Диссертация посвящена повышению эффективности теплоутилизаторов с тепловыми трубами для систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Одной из ключевых проблем повышения энергоэффективности в строительной отрасли является наличие существенных затрат на подогрев приточного воздуха, а также безвозвратное удаление теплоты вытяжного воздуха.

Применение рекуперативных теплообменных аппаратов позволяет использовать удаляемый воздух в качестве вторичного энергоресурса, что приводит к снижению потребления теплоты в зданиях различного назначения и экономии тепловой энергии.

Важным вопросом является модификация теплоутилизатора с тепловыми трубами, которая требует аналитического исследования, связанного с проверкой согласованности данных, получаемых в результате численного и лабораторного экспериментов, а также данных, полученных на основе инженерной методики расчета.

Представленные в диссертации результаты исследований, выявляют значимые условия, необходимые для создания эффективных устройств по теплоутилизации для обогрева приточного воздуха в системах вентиляции и кондиционирования, что остается *актуальной* проблемой в настоящее время.

### **Структура и краткое содержание работы**

**Во введении** обосновывается актуальность выбранной темы исследования, определяется степень её проработки, формулируются цели и задачи исследования, выделяется научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Также описывается методология и методы исследований, излагаются основные положения, которые будут защищены, предоставляются сведения о достоверности полученных результатов, об апробации и внедрении результатов работы.

**Первая глава** содержит обзор методов и технических решений для использования низкопотенциальной тепловой энергии в системах вентиляции и кондиционирования воздуха с использованием теплообменников на основе тепловых труб. Был проанализирован опыт применения таких теплоутилизаторов в системах вентиляции, что подчеркивает важность проведения дальнейших исследований по теплообменникам типа трубчато-пластинчатых с использованием тепловых труб в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.

**Во второй главе** исследован метод расчета теплообменного устройства с использованием тепловых труб с различными капиллярными структурами и теплоносителями R134A, R410A, R407C. Был определен наиболее надежный метод крепления тепловых труб в трубной решетке теплообменника, который описан в патенте на изобретение RU 279974 C1.

**В третьей главе** обсуждается постановка задачи численных и лабораторных экспериментов, а также обосновывается использование геометрического фрагмента теплоутилизатора с периодическими граничными условиями. Исследуются модели турбулентности  $k$ - $\varepsilon$ ,  $k$ - $\omega$ , *Reynolds Stress*, сделан выбор модели турбулентности  $k$ - $\varepsilon$  с модификацией *Realizable*, включающей функцию детального пристеночного моделирования. Также разработаны лабораторный стенд и программа экспериментальных исследований.

**В четвертой главе** изложены результаты численных и лабораторных экспериментов, проведен анализ полученных данных. Были выявлены новые зависимости коэффициента эффективности и аэродинамического сопротивления теплоутилизатора. Экспериментально установлена связь критерия Нуссельта для внешней поверхности теплообменных аппаратов с тепловыми трубами при сплошном гладком пластинчатом оребрении. Также была выявлена экспериментальная зависимость критерия Эйлера для теплообменных аппаратов с тепловыми трубами при сплошном гладком пластинчатом оребрении с шахматным распределением труб. Окончание главы содержит рекомендации по оптимальному использованию теплообменников с тепловыми трубами в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.

**В заключении** приведены основные выводы диссертационного исследования, а также указаны перспективы и направления будущей работы в данной области исследований.

### **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 гидрогазодинамики в теплообменных аппаратах; использованием современных средств измерений и прикладных программ и обуславливается удовлетворительной сходимостью результатов расчетов, моделирования и экспериментальных исследований.

### **Научная новизна:**

- установлена адекватность применения периодических границ и модели турбулентности  $k-\varepsilon$  (*Realizable*) на основе результатов лабораторного и численного исследований рекуператора с тепловыми трубами приточно-вытяжных систем вентиляции;

- получены зависимости мощности тепловых труб (термосифонов) от температуры вытяжного воздуха для различных капиллярных структур фитиля при использовании хладагентов R134A, R410A и R407C;

- получены новые зависимости термического коэффициента эффективности и аэродинамического сопротивления рекуператоров с тепловыми трубами для приточно-вытяжных систем вентиляции от шага оребрения и высоты ребра на основании численного и лабораторного экспериментов;

- установлена экспериментальная зависимость критерия Нуссельта для внешней поверхности теплообмена тепловых труб при сплошном гладком пластинчатом оребрении трубного пучка с шахматным расположением трубок при условной высоте ребер от 7,8 до 10,72 мм, относительном шаге оребрения  $0,19 < s/h < 1,28$  и относительной толщине ребер  $2,5 < s/\delta < 12,5$ ;

- установлена экспериментальная зависимость критерия Эйлера для теплообменных аппаратов с тепловыми трубами при сплошном гладком пластинчатом оребрении трубного пучка с шахматным расположением трубок при условной высоте ребер от 7,8 до 10,72 мм, относительном шаге оребрения  $0,19 < s/h < 1,28$  и относительной толщине ребер  $2,5 < s/\delta < 12,5$ , а также соотношении  $(1 - d/s_2)/(a-1) \leq 0,24$ .

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

- выявлены особенности процессов теплообмена в тепловых трубах, исследовано использование фреонов R134A, R410A, R407C, выявлено влияние капиллярных структур и формы каналов на характеристики тепловых труб;

- предложено техническое решение в виде способа крепления тепловых труб в трубной доске, обеспечивающее разделение потоков приточного и вытяжного воздуха и предотвращающее загрязнение приточного воздуха удаляемым;

- разработаны математическая модель теплообменного аппарата с тепловыми трубами, обеспечивающая наилучшую сходимость результатов моделирования и лабораторного эксперимента, и разработан лабораторный стенд с программой исследований;

- установлена экспериментальная зависимость критерия Нуссельта для внешней поверхности теплообменных аппаратов с тепловыми трубами при сплошном гладком пластинчатом оребрении трубного пучка с шахматным расположением трубок при условной высоте рёбер от 7,8 до 10,72 мм, относительном шаге оребрения  $0,19 < s/h < 1,28$  и относительной толщине рёбер  $2,5 < s/\delta < 12,5$ ;

- установлена экспериментальная зависимость критерия Эйлера для теплообменных аппаратов с тепловыми трубами при сплошном пластинчатом оребрении трубного пучка с шахматным расположением трубок при условной высоте рёбер от 7,8 до 10,72 мм, относительном шаге оребрения  $0,19 < s/h < 1,28$ .

### **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 теплообменных аппаратов с тепловыми трубами, что подтверждается соответствующими актами внедрения. Также определенную ценность составляют результаты CFD – моделирования и разработанный соискателем новый способ крепления тепловых труб в трубной доске аппарата, позволяющий исключить загрязнение приточного

воздуха удаляемым в теплообменнике при шахтном расположении труб, подтвержденный патентом на изобретение.

### **Степень завершенности диссертации в целом и качество её оформления**

Диссертация Тимофеева Александра Васильевича является завершенным научно-исследовательским трудом, направленным на решение научно-технической задачи, связанной с повышением эффективности утилизации тепловой энергии теплообменными аппаратами с тепловыми трубами в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. Диссертация написана технически грамотным языком, обладает строгой и понятной логической последовательностью изложения. Качество оформления диссертации соответствует основным требованиям, предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата технических наук.

### **Общие замечания по диссертационной работе**

*По диссертационной работе имеются следующие замечания:*

1. Значительный объем диссертации посвящен описанию известных систем вентиляции и кондиционирования воздуха с помощью теплообменных аппаратов с тепловыми трубами, проставляется что этот раздел может быть сокращен без ущерба для работы в целом.

2. Возможно, что задачи, указанные для достижения цели, 2 и 3 указаны в обратной последовательности – то есть вначале – моделируется процесс, а потом усовершенствуются технические решения (на основании полученных данных).

3. На странице 47 автором выявлено, что наилучшим с точки зрения тепловой мощности является фреон R410A, однако отсутствуют сведения о влиянии температурного глайда (т.е. изменения в процессе фазового перехода температуры кипения смеси, наибольшего среди указанных фреонов). Также не указано решение вопросов о применимости и дороговизне техники, работающей на R-410A. Это вызвано тем, что рабочее давление является более высоким (при температуре конденсации в пределах 43 градусах давление - 26 атмосфер). [Копылова, О. А. Обзор термодинамических характеристик хладагентов R-134A,

R-410A и R-407C для системы кондиционирования воздуха / О. А. Копылова, В. В. Романов, А. И. Прохорова, И. С. Копылов. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2017. — № 26 (160). — С. 31-33. — URL: <https://moluch.ru/archive/160/45004/> (дата обращения: 01.05.2024)].

4. Отсутствует приложение с использованием условных обозначений, что затрудняет изучение работы.

5. При проведении численного моделирования с помощью *Ansys Fluent* стоило более подробно описать принятые исходные данные и граничные условия проведения численного эксперимента.

6. Из фотографии лабораторной установки (стр. 73), не ясно расположение элементов лабораторной установки.

7. Выводы к главам 1, 3 содержат общие формулировки, без конкретных данных.

8. По тексту диссертации имеются некоторые редакционные замечания на страницах 9, 53, на рисунках 1.10, 1.11, 3.3, в формуле 3.1., стр. 2 – сбой шрифта в нумерации подразделов, стр.4, 6, 7 и т.д. при переходе на другой язык с русского – сбой шрифта, нумерация страниц – не соответствует ГОСТ.

Однако, указанные замечания не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку работы, её научную ценность и практическую значимость.

### **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 6 публикациях, в том числе 3 статьи в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ, и получен 1 патент на изобретение.

Диссертационная работа Тимофеева Александра Васильевича «Повышение эффективности теплообменников с тепловыми трубами для систем вентиляции и кондиционирования воздуха» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические решения теплообменных аппаратов с тепловыми трубами, внедрения которых вносит значительный вклад в развитие строительной отрасли страны.

По актуальности, новизне и практической значимости проведенных исследований работа отвечает требованиям, предъявленным 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), в ее автор Тимофеев Александр Васильевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.3 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение».

Зав. кафедрой «Информационных  
энергетических систем» Федерального  
государственного бюджетного  
образовательного учреждения  
высшего образования «Юго-Западный  
государственный университет»,  
кандидат технических наук, доцент



Семичева Наталья Евгеньевна

Адрес: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, д.94

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

Телефон +7 (4712) 50-48-00

E-mail: rector@swsu.ru



*Семичевой Н.Е.*

кадрам

*Чернов Г.В.*