

В диссертационный совет 24.2.380.03  
Санкт-Петербургского государственного  
архитектурно-строительного  
университета

### **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу Тимофеева Александра Васильевича «Повышение эффективности теплообменников с тепловыми трубами для систем вентиляции и кондиционирования воздуха», представленную к защите 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 рассматриваются актуальные задачи утилизации низкопотенциальной теплоты вытяжного воздуха систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Из многочисленных исследований известно, что расход теплоты на нагрев вентиляционного воздуха может достигать до 60% от расхода теплоты на здание. Альтернативой различным видам отопительным системам являются системы воздушного отопления, в которых используются теплообменники – утилизаторы, работающие на теплоте вентиляционных выбросов. Следовательно, представленные в диссертационной работе исследования по разработке эффективных теплоутилизационных устройств для подогрева приточного воздуха в системах вентиляции и кондиционирования воздуха, в настоящее время являются актуальными.

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

В состав диссертации входит: введение, четыре главы, заключение, список литературы и восемь приложений. Материал изложен на 177 страницах машинописного текста, куда вошло: 46 таблиц; 71 рисунок; список использованной литературы из 141 наименования.

Структура работы полностью согласуется с целями и задачами поставленных в диссертационной работе исследований.

**Во введении** обоснована актуальность выбранной темы работы, определена степень её проработки, обозначены цели и задачи исследования, сформулирована



научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследований, представлены основные положения, выносимые на защиту, сведения о достоверности полученных результатов исследований, апробации и внедрения результатов работы.

**В первой главе** представлен анализ методов и технических решений утилизации низкопотенциальной тепловой энергии систем вентиляции и кондиционирования воздуха с использованием теплообменных аппаратов с тепловыми трубками. Проанализирован опыт использования теплоутилизаторов с тепловыми трубками в системах вентиляции, сделаны выводы о необходимости проведения исследований трубчато-пластинчатых теплообменников с тепловыми трубками в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.

**Во второй главе** рассмотрена методика расчета теплообменного аппарата с тепловыми трубками, характеристики тепловых трубок с различными капиллярными структурами при использовании теплоносителей R134A, R410A, R407C. Разработан наиболее герметичный способ крепления тепловых трубок в трубной доске теплообменника, данный способ защищен патентом на изобретение RU 279974 C1.

**В третьей главе** рассмотрена постановка задачи численного и лабораторного экспериментов, выявлена целесообразность использования геометрического фрагмента теплоутилизатора с периодическими граничными условиями. Рассмотрены модели турбулентности  $k$ - $\epsilon$ ,  $k$ - $\omega$ , *Reynolds Stress*, обоснован выбор модели турбулентности  $k$ - $\epsilon$  с модификацией *Realizable* с функцией подробного пристеночного моделирования. Разработан лабораторный стенд и программа экспериментальных исследований.

**В четвертой главе** представлены результаты численного и лабораторного экспериментов, проведен их сравнительный анализ. Получены новые зависимости коэффициента эффективности и аэродинамического сопротивления теплоутилизатора. Установлена экспериментальная зависимость критерия Нуссельта для внешней поверхности теплообменных аппаратов с тепловыми трубками при сплошном гладком пластинчатом оребрении. Установлена экспериментальная зависимость критерия Эйлера для теплообменных аппаратов с тепловыми трубками при сплошном гладком пластинчатом оребрении с шахматным пучком труб.



Представлены рекомендации по эффективному применению теплообменников с тепловыми трубками в приточно-вытяжных установках систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

**В заключении** представлены основные итоги диссертационного исследования, а также обозначены перспективы и направления дальнейшей разработки тематики диссертационного исследования.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна**

В результате работы над диссертацией получены следующие результаты:

- выявлены особенности процессов теплообмена в тепловых трубках, исследовано использование фреонов R134A, R410A, R407C, выявлено влияние капиллярных структур на характеристики тепловых трубок;

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

- разработаны математическая модель теплообменного аппарата с тепловыми трубками, 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 трубками 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  $0,19 < s/h < 1,28$ .

**Обоснованность** научных положений, выводов и рекомендаций, представленных в диссертационной работе Тимофеева Александра Васильевича, подтверждаются использованием общепринятых научных положений теплообмена и гид-



рогазодинамики, сходимостью результатов численного и лабораторного экспериментов, использованием современных высокоточных средств измерений и применением сертифицированного программного комплекса *Ansys*.

**Научная новизна** работы заключается в том, что автором предложены и апробированы на основе исследований следующие положения:

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

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

- экспериментальная зависимость критерия Нуссельта для внешней поверхности теплообмена тепловых труб 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  $2,5 < s/\delta < 12,5$ ;

- экспериментальная зависимость критерия Эйлера для теплообменных аппаратов с тепловыми трубками 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  $2,5 < s/\delta < 12,5$ , а также соотношении  $(1 - d/s_2)/(a-1) \leq 0,24$ .

Обоснованность научных положений, достоверность выводов и рекомендаций, научная значимость диссертационной работы не вызывает сомнений. Работа имеет существенную практическую значимость. Результаты диссертационного исследования апробированы на предприятии АО «ОКБ-Планета» и в учебном процессе кафедры теплогазоснабжения и вентиляции СПбГАСУ, что подтверждается актами внедрения научных результатов.

Основные научные положения и выводы диссертации прошли апробацию на международных и всероссийских научно-технических конференциях. По результатам выполненных исследований опубликовано 6 работ, в том числе 3 статьи в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ, и получен 1 патент РФ на изобретение.



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

Диссертация Тимофеева Александра Васильевича является завершенным научно-исследовательским трудом, направленным на решение задач, связанных с повышением эффективности утилизации тепловой энергии теплообменными аппаратами с тепловыми трубками 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.

## **Соответствие содержания автореферата диссертации**

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию кандидатской диссертации и является кратким её изложением. Содержание автореферата включает в себя краткое описание всех основных этапов исследования – актуальность исследования, цели и задачи, научную новизну, теоретическую и практическую значимость, методологию и методы исследования, степень достоверности, апробацию результатов, результаты внедрения, заключение и список основных трудов автора по теме диссертационной работы.

## **Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы**

Личный вклад соискателя в решение исследуемых задач заключается в обобщении и анализе ранее проведенных исследований отечественных и зарубежных учёных в области использования низкопотенциальной теплоты вентиляционных выбросов, повышения эффективности работы теплообменного аппарата, в постановке цели и задач исследования, в выборе методов исследования, в разработке основных положений, определяющих научную новизну и практическую значимость работы, в проведении экспериментальных исследований, а также в разработке рекомендаций по применению теплообменных аппаратов с тепловыми трубками в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.

## Общие замечания по диссертационной работе

1. При описании охлаждения приточного воздуха в системах кондиционирования следовало бы рассмотреть условия изменения параметров приточного воздуха при наличии конденсации на тепловых трубках.
2. На рис. 1.12а (стр.27) не показана зона забора теплоты тепловыми трубками на схеме с одной приточной установкой, а на схеме приточно-вытяжной установки с тепловыми трубками неправильно обозначены элементы: утеплённая воздушная заслонка названа фильтром (карманный фильтр следующий), выхлопной соединительный патрубок приточной установки назван воздухом.
3. Без пояснений трудно верится в эффективность установки на рис. 1.16, так как без отвода тепла наружу в ней действует закон сохранения и превращения энергии.
4. Следует разобраться в терминах, широко используемых в специальности ТГВ: сопротивление теплопередачи и термическое сопротивление теплопередачи.
5. В работе не представлено детального анализа причины наличия экстремумов на рис. 2.3, рис. 2.4, рис. 2.5.
6. Гексагональная сетка должна состоять из шестигранных элементов, а на рис. 3.2 показана расчётная сетка, состоящая из четырёхгранных элементов.
7. Достоверность полученных в программе *Ansys Fluent* расчетных значений скоростей и температур доказывается только путем сравнительного анализа расчетных характеристик аппарата. Исследование на сеточную сходимость не представлено в должном объёме.
8. В работе не представлена теория планирования и оценка точности результатов исследования, полученных на лабораторной установке.
9. Автор не привёл пояснений, почему формулы (2.29) и (2.30) представлены без влияния теплоты фазовых переходов?
10. Список литературы необходимо оформлять по действующим нормативным документам:
  - не следует однотипные источники (см. п.41, 44, 46, 47, 71 и т.д.) оформлять по-разному;



- работы п.66 и п.69 повторяющиеся;
- необходимо точно указывать число страниц у нормативных источников п.52 и п.53.
- не на все источники из списка литературы имеются ссылки в тексте диссертации.

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

### **Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней**

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук Тимофеева Александра Васильевича на тему «Повышение эффективности теплообменников с тепловыми трубами для систем вентиляции и кондиционирования воздуха» является завершённой научно-квалификационной работой. Полученные автором результаты достоверны, а выводы обоснованы. На основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения и новое решение актуальной научной задачи по повышению эффективности теплообменников с тепловыми трубками, которые можно квалифицировать как научное достижение в области специальности 2.1.3 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение п. 3: «Разработка и совершенствование систем теплогасоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха, разработка методов энергосбережения систем и элементов теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжения и освещения, охраны воздушного бассейна, защиты от шума зданий и сооружений, аспирации и пневмотранспорта, включая использование альтернативных, вторичных и возобновляемых источников энергии; развитие методов моделирования многофазных потоков и динамических процессов в аэродисперсных системах» и п. 4: «Разработка математических моделей, методов, алгоритмов и компьютерных программ, использование численных методов, с проверкой их адекватности, для расчета, конструирования и проектирования систем теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжения и освещения, охраны воздушного бассейна, защиты от шума зданий и сооружений, повышения их надежности и эффективности»

Диссертационная работа соответствует критериям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к работам, представленным на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор Тимофеев Александр Васильевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.1.3. «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение».

**Официальный оппонент**

Доктор технических наук  
(специальность 05.23.03 –  
«Теплоснабжение, вентиляция,  
кондиционирование воздуха,  
газоснабжение и освещение»),  
профессор, член-корреспондент  
РААСН, заведующий кафедрой  
теплогазоснабжения  
ФГБОУ ВО «Нижегородский  
государственный архитектурно-  
строительный университет»

*Александр*

Кочев Алексей Геннадьевич

Адрес: 603952, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65.  
ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Тел.: +7 (831) 433-45-35; +7 905 663 80 54  
E-mail: [kochev.1961@mail.ru](mailto:kochev.1961@mail.ru)

Личную подпись профессора Кочева А.Г. заверяю.

Проректор по научной работе ФГБОУ ВО

«Нижегородский государственный архитектурно-  
строительный университет»,

доктор технических наук, доцент

*Монич*

Монич Дмитрий Викторович



« 30 » мая 2024г.

603952, Россия, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65,

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный  
архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ)

Тел./факс: 8 (831) 434-02-91/ 430-53-48, e-mail: [srec@nngasu.ru](mailto:srec@nngasu.ru)