

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной
и инновационной деятельности
ФГБОУ ВО «Казанский
национальный исследовательский
технический университет
им.А.Н.Туполева-КАИ»



В.М.Бабушкин

« 2 » 10 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им.А.Н.Туполева-КАИ»

Диссертация на тему «Теплообмен и гидродинамика при течении однофазного теплоносителя в щелевых каналах с поверхностными вихрегенераторами различной формы» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6 – Теоретическая и прикладная теплотехника выполнена Мироновым Александром Александровичем на кафедре теплотехники и энергетического машиностроения.

В 2017 году соискатель окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им.А.Н.Туполева-КАИ» по специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов по специальности 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника» выдана федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им.А.Н.Туполева-КАИ».

Научный руководитель: Попов Игорь Александрович, д.т.н., профессор, профессор федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им.А.Н.Туполева-КАИ».

Диссертация Миронова Александра Александровича на тему «Теплообмен и гидродинамика при течении однофазного теплоносителя в щелевых каналах с поверхностными вихрегенераторами различной формы» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника» рассмотрена на заседании кафедры теплотехники и энергетического машиностроения государственного

бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ».

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Актуальность темы исследования. В последние 15-20 лет проведены обширные исследования вихревой интенсификации теплоотдачи с использованием симметричных и асимметричных сферических выемок. Сегодня сформирована база данных по сопротивлениям и теплоотдаче каналов с различными геометриями расположения сферических выемок, установлены и описаны механизмы и уровни интенсификации, даны рекомендации по прогнозированию коэффициентов теплоотдачи и гидравлического сопротивления, разработаны, созданы и испытаны образцы теплообменного оборудования с данными интенсификаторами. Однако были выявлены существенные недостатки данной формы поверхностного интенсификатора.

Основное направление исследований на данном этапе исследований - поиск рациональных форм интенсификаторов. Работы по поиску формы, обеспечивающей сопоставимый, а желательно опережающий прирост теплоотдачи по сравнению с гидросопротивлением, вызывают огромный интерес у производителей и потребителей теплообменного оборудования и ставят данный вопрос перед исследователями. Здесь необходим комплексный выбор формы выемок, шага между выемками и взаимного расположения к потоку, обеспечивающие максимальную интенсификацию теплоотдачи при умеренном росте гидравлического сопротивления. В настоящей работе дан достаточно полный обзор экспериментальных исследований интенсификации теплоотдачи с помощью поверхностных выемок-вихрегенераторов для различных практических приложений. В настоящее время практически отсутствуют рекомендации по прогнозированию коэффициентов теплоотдачи и гидросопротивления для каналов с перспективными типами вихрегенераторов. Дополнительной задачей является проверка возможности использования модели нейронной сети для повышения точности определения коэффициентов теплоотдачи и гидросопротивления.

С развитием вычислительной техники и специализированных пакетов прикладных программ огромные успехи достигнуты за счет использования современных численных технологий. Использование численных методов исследования резко повысило результативность работ, так как снизило затраты, связанные с постановкой теплофизических натуральных экспериментов. Использование численного эксперимента позволило детально оценить влияние различных режимных (режимов обтекания, внешних и начальных условий, теплофизических свойств теплоносителей и т.д.) и конструктивных (размеры, форма и расположение выемок, влияние формы каналов и т.д.) параметров и выявить рациональные значения данных параметров с точки зрения теплогидравлической эффективности. Однако для работ по численным исследованиям требуется верификация полученных результатов.

Степень разработанности: В работе проведен критический анализ многочисленных работ по исследованиям гидродинамики и теплообмена на поверхностях теплообменного оборудования с поверхностными вихрегенераторами в виде выемок различной формы, в том числе приведенных в работах Кикнадзе Г.И., Леонтьева А.И., Чудновского Я.П., Терехова В.И., Исаева С.А., Sundén В., Козлова А.П., Халатова А.А., Щукина А.В., Нагоги Г.П., Анурова Ю.М., Ligrani P.M., Попова И.А., Готовского М.А., Шанина Ю.И., Воскобойника А.В., Сапожникова С.З., Цынаевой А.А., Михеева Н.И., Щелчкова А.В., Бурцева С.А., Hwang S.D. и многих других. Также уделено внимание практическому использованию результатов исследований в теплотехнологических и теплоэнергетических устройствах.

Предмет исследования - гидравлическое сопротивление и теплоотдача в каналах с поверхностными интенсификаторами в условиях вынужденной конвекции.

Объект исследования - способ интенсификации теплоотдачи за счет применения систем выемок в виде овально-траншейных, овально-дуговых выемок и выемок в форме бумеранга.

Цель работы - разработка рекомендаций для прогнозирования теплоотдачи и гидравлического сопротивления при вынужденной конвекции теплоносителя в щелевых каналах с поверхностными вихревыми интенсификаторами на основе комплексного экспериментального и численного исследования.

Задачи исследования:

1. Провести критический анализ имеющихся на сегодняшний день научных публикаций, посвященных экспериментальному моделированию процесса интенсификации теплоотдачи с использованием овально-траншейных выемок в условиях вынужденной конвекции; сформировать базу данных величин коэффициентов теплоотдачи и гидравлического сопротивления; обосновать выбор и характерные диапазоны влияния определяющих безразмерных геометрических симплексов и режимных параметров потока.

2. Выполнить экспериментальное исследование гидравлического сопротивления и теплоотдачи в условиях вынужденной конвекции в щелевых каналах с поверхностными вихрегенераторами для определения зависимости величин коэффициентов теплоотдачи и сопротивления от режимных параметров.

3. Выполнить экспериментальное исследование распределения локальных температур и визуализацию течения для обоснования механизмов интенсификации теплоотдачи.

4. Провести верификацию результатов численных исследований С.А.Исаева по поверхностным вихревым интенсификаторам на основе полученных экспериментальных данных.

5. Провести численное исследование теплоотдачи и гидравлического сопротивления в каналах с поверхностными интенсификаторами нового типа.

6. Разработать рекомендации для прогнозирования уровня интенсификации теплоотдачи и повышения коэффициентов гидравлического сопротивления в условиях вынужденной конвекции в щелевых каналах на основе нейросетевого и регрессионного анализов процесса интенсификации теплообмена, с последующим обоснованием основных рациональных размеров рельефа.

Научная новизна.

1. предложены и запатентованы новые формы поверхностных интенсификаторов в виде овально-траншейных, овально-дуговых выемок и выемок в форме бумеранга, а также рациональные размеры интенсификаторов для турбулентного режима течения;

2. выполнено экспериментальное исследование картин течения, гидравлического сопротивления и теплоотдачи в условиях вынужденной конвекции в щелевых каналах с поверхностными вихрегенераторами в виде различных компоновок систем овально-траншейных и овально-дуговых выемок;

3. впервые определены зависимости величин коэффициентов теплоотдачи и гидравлического сопротивления от режимных и геометрических параметров для однорядных систем овально-траншейных выемок;

4. проведена верификация результатов численных исследований С.А.Исаева по поверхностным вихревым интенсификаторам на основе полученных экспериментальных данных;

5. проведено численное исследование теплоотдачи и гидравлического сопротивления в каналах с поверхностным интенсификатором нового типа – в виде бумеранга;

6. разработаны рекомендации для прогнозирования уровня интенсификации теплоотдачи и повышения коэффициентов гидравлического сопротивления в условиях вынужденной конвекции в щелевых каналах на основе нейросетевого и регрессионного анализов процесса интенсификации теплообмена.

Полученные результаты имеют теоретическую значимость:

1. Получены новые сведения о гидродинамике и теплоотдаче в каналах с системами выемок различных форм в условиях вынужденной конвекции.

2. Представлен новый подход к прогнозированию значений коэффициентов теплоотдачи и гидравлического сопротивления в зависимости от геометрических параметров поверхности с использованием искусственной нейронной сети.

3. Проведена верификация ранее выполненных численных исследований С.А.Исаева по гидродинамике и теплообмену в каналах с различными типами вихрегенераторов.

Практическая значимость полученных результатов заключается в следующем:

1. Разработаны новые рекомендации по выбору оптимальных геометрических параметров поверхностных интенсификаторов теплообмена,

позволяющие производить расчет и проектирование систем охлаждения энергетического оборудования и теплообменных аппаратов.

2. Предложены и запатентованы новые типы эффективных поверхностных интенсификаторов теплообмена.

Работа выполнена в рамках реализации проектов по соглашению с Министерством высшего образования и науки РФ № 14.Z50.31.0003, 075-03-2020-051/3, 075-03-2023-032, РФФИ №18-38-00356, 20-58-04002.

Методология и методы исследования - оценка влияния геометрических параметров поверхностных вихрегенераторов и режимных параметров рабочей жидкости на теплоотдачу в условиях вынужденной конвекции производилась путем проведения экспериментального исследования. Экспериментальное исследование производилось в условиях вынужденной конвекции, с аттестованными приборами измерения температуры, давления, расхода, напряжения и силы тока. Подвод тепла к рабочим поверхностям осуществлялся калориметрическим путем. Оценка неопределенности измерения коэффициентов теплоотдачи и гидравлического сопротивления осуществлялась по ГОСТ-34100-1-2017. Геометрические параметры исследуемых поверхностей определялись с использованием стереомикроскопа с цифровой камерой. Обработка экспериментальных данных и их обобщение производилось в программе Origin, построение нейронной сети производилось в программном комплексе Matlab, а численное моделирование – в пакете прикладных программ VP2/3.

Положения, выносимые на защиту:

1) Результаты исследования теплоотдачи и гидравлического сопротивления в щелевых каналах с различными типами поверхностных интенсификаторов в условиях вынужденной конвекции.

2) Выбор и обоснование основных рациональных размеров рельефа поверхностей каналов с различными типами поверхностных интенсификаторов.

4) Универсальные рекомендации по расчету значений коэффициентов теплоотдачи и гидравлического сопротивления каналов с различными типами поверхностных интенсификаторов в условиях вынужденной конвекции, полученные на основе регрессионного и нейросетевого моделирования.

Достоверность.

Достоверность представленных результатов исследования обеспечивается:

1) Применением сертифицированного и тарированного оборудования и средств измерения с соответствующим уровнем точности.

2) Оценкой неопределенности, что позволяет сравнивать полученные данные с данными других авторов.

3) Использованием современных программных комплексов и компьютерных технологий и техники для обработки и прогнозирования данных.

Личный вклад. Постановка цели и задач исследования сформулированы автором совместно с руководителем. При анализе и обобщении данных по

гидравлическому сопротивлению и теплоотдаче совместно использованы данные исследований автора и С.А.Исаева, заимствованные из открытой научной литературы с соответствующими ссылками. Автором лично проведен критический анализ описанных в литературе экспериментальных исследований процессов интенсификации теплоотдачи; получены рекомендации и обобщающие зависимости для расчета величин коэффициентов теплоотдачи и гидравлического сопротивления; разработан алгоритм и программа на основе применения искусственных нейронных сетей; предложены рациональные параметры поверхностей с различными типами вихрегенераторов. Поверхности с вихрегенераторами изготовлены автором. При содействии С.А.Исаева проведено обучение технике использования вычислительных технологий и постановка численных исследований. Численные исследования и их анализ проведен автором самостоятельно.

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.4.6 - теоретическая и прикладная теплотехника по п.5 - научные основы и методы интенсификации процессов тепло- и массообмена и тепловой защиты. Процессы тепло- и массообмена в оборудовании, предназначенном для производства, преобразования, передачи и потребления теплоты; и п.4 - процессы переноса массы, импульса и энергии при свободной и вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей и характеристик теплопередающих поверхностей, в одно- и многофазных системах и при фазовых превращениях. Радиационный теплообмен в прозрачных и поглощающих средах.

Апробация результатов: основные результаты работы докладывались и обсуждались на X Международной теплофизической школе “Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий” (Душамбэ, 2016), X школе-семинаре под руководством акад.РАН В.Е.Алемасова «Проблемы тепломассообмена и гидродинамики в энергомашиностроении» (Казань, 2016), школе-семинаре молодых ученых и специалистов под рук-вом акад. РАН А.И.Леонтьева (СПб, 2017), XXXIII, XXXVI, XXXVII и XL Сибирском теплофизическом семинаре (Новосибирск, 2017, 2020, 2021, 2024), II и III Международной конференции «Современные проблемы теплоэнергетики и теплофизики» (Москва, 2017, 2020), международной конференции «Гидродинамика и тепломассообмен в закрученных потоках» (Новосибирск, 2017), Международной конференции «Информационно-сенсорные системы в теплофизических исследованиях» (Тамбов, 2018), XXV и XXVI Международной конференции «Туполевские чтения» (Казань, 2021, 2023), Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли» (Казань, 2018), VII и VIII Российских национальных конференциях по теплообмену (Москва, 2018, 2022), XII Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов с международным участием «Будущее машиностроения России» (Москва, 2019), XVI Минском международном форуме по тепло- и массообмену (Минск, 2022).

Публикации. Работа опубликована в 5 статьях в журналах, рекомендованных ВАК для кандидатских диссертаций, 3 статьях в журналах, входящих в список цитирования SCOPUS, 1 статье в международном журнале, 19 тезисах докладов на международных и всероссийских конференциях, 3 патентах РФ на изобретения.

Объем и структура диссертационной работы: Общий объем диссертационного исследования составляет 174 страницы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка источников используемой литературы в количестве 138 наименований, приложений.

В рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Миронов, А.А. Физическое моделирование теплогидравлических характеристик каналов с овално-траншейными вихрегенераторами / А.А.Миронов, С.А.Исаев, А.Н.Скрыпник, И.А.Попов, Ю.Ф. Гортышов // Тепловые процессы в технике. 2020. Т. 12. №9. С. 386–402

2. Миронов, А.А. Повышение эффективности авиационных теплообменных аппаратов / А.А.Миронов, С.А.Исаев, И.А.Попов, Р.А.Аксапов, А.Н. Скрыпник // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2020. № 1. С. 134-140.

3. Миронов, А.А. Сопротивление и теплообмен одиночной трубы с поверхностными генераторами вихрей / Т.А.Баранова, Е.С.Данильчик, Ю.В.Жукова, Р.Г.Кадыров, Г.С.Маршалова, А.А.Миронов, И.А.Попов, А.Н.Скрыпник, А.Д. Чорный // Тепловые процессы в технике. 2021. Т. 13. №11. С. 495–508

4. Миронов, А.А. Гидродинамика и теплообмен в щелевых каналах с перспективными поверхностными интенсификаторами / С.А.Исаев, Ю.Ф.Гортышов, И.А.Попов, А.А.Миронов, А.В. Щелчков // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2023. №4. С. 146-152.

5. Миронов А.А. Интенсификация теплообмена в наклонной канавке типа бумеранг на нагретой стенке канала при ориентированной по потоку концевой части / С.А.Исаев, Д.В.Никущенко, И.А.Попов, А.А. Миронов, А.А.Клюс, А.Г. Судаков // Письма в журнал технической физики. 2024. №22.

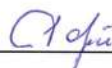
Решение:

1. Диссертация Миронова Александра Александровича, выполненная на тему «Теплообмен и гидродинамика при течении однофазного теплоносителя в щелевых каналах с поверхностными вихрегенераторами различной формы», удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника» и соответствует паспорту специальности.

2. Диссертация «Теплообмен и гидродинамика при течении однофазного теплоносителя в щелевых каналах с поверхностными вихрегенераторами различной формы» Миронова Александра Александровича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника».

Присутствовали на заседании 15 человек.
Результаты голосования: «за» - 15 человек, «против» - 0 человек,
«воздержались» - 0 человек.
Протокол №3 от 2.10.2024г.

И.о.заведующего кафедрой теплотехники
и энергетического машиностроения,
д.т.н., профессор

 Ю.Ф.Гортышов

Секретарь кафедры теплотехники
и энергетического машиностроения

 Т.В.Густова

*Подпись заверено.
Вед. документовец УДК
2.10.2024*

