

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

**Диссертационный совет:** 24.2.327.06

**Соискатель:** Французов Максим Сергеевич

**Тема диссертации:** Разработка метода оценки эффективности интенсификации конвективного теплообмена в каналах

**Специальность:** 1.3.14. – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

**Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации.**

На заседании 10 апреля 2023 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, приведенным в "Положении о присуждении ученых степеней", утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, и принял решение присудить Французову Максиму Сергеевичу ученую степень кандидата технических наук.

**Присутствовали:** председатель диссертационного совета Равикович Ю.А., ученый секретарь диссертационного совета Краев В.М., члены диссертационного совета: Агульник А.Б., Абашев В.М., Демидов А.С., Молчанов А.М., Мякочин А.С., Надирадзе А.Б., Назаренко И.П., Ненарокомов А.В., Никитин П.В., Попов Г.А., Силуянова М.В., Тимушев С.Ф., Хартов С.А.

Ученый секретарь диссертационного совета  
24.2.327.06, д.т.н., доцент

Краев В.М.

Начальник отдела УДС МАИ

Т.А. А



*Тимушев*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.06,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение Диссертационного Совета от 10.04.2023 г. № 39

О присуждении Французову Максиму Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка метода оценки эффективности интенсификации конвективного теплообмена в каналах» по специальности 1.3.14. – «Теплофизика и теоретическая теплотехника» принята к защите 30.01.2023 г., (протокол заседания № 37) диссертационным советом 24.2.327.06, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации; 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4; приказ Минобрнауки РФ о создании диссертационного совета – 669/нк.

Соискатель Французов Максим Сергеевич, 1987 года рождения. В 2010 году соискатель окончил обучение в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» по специальности «Ракетные двигатели». В 2017 году окончил заочную аспирантуру федерального автономного учреждения «ЦИАМ им. П.И. Баранова».



В период подготовки диссертации соискатель работал в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» на кафедре «Теплофизика» в должности ассистента, старшего преподавателя кафедры, заместителем директора в Научно-исследовательском институте энергетического машиностроения МГТУ им. Н.Э. Баумана. На данный момент соискатель работает в Научно-исследовательском институте энергетического машиностроения МГТУ им. Н.Э. Баумана в должности заместителя директора.

Диссертация выполнена на кафедре «Теплофизика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук Гордин Михаил Валерьевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», доцент.

Официальные оппоненты:

Павленко Александр Николаевич, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, заведующий научно-исследовательской лабораторией низкотемпературной физики федерального государственного учреждения науки «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук», старший научный сотрудник;

Здитовец Андрей Геннадиевич, кандидат технических наук, доцент, исполняющий обязанности заведующего лабораторией Научно-исследовательского института механики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Московский государственный университет.



А.Н. Павленко и А.Г. Здитовец дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, в своём положительном отзыве, подписанном Сухих А.А., доктором технических наук, профессором кафедры теоретических основ теплотехники им. Вукаловича и утверждённом проректором по научной работе Драгуновым В.К., отметила, что диссертационная работа Французова Максима Сергеевича «Разработка метода оценки эффективности интенсификации конвективного теплообмена в каналах» представляет собой, завершённую научно-квалификационную работу, которая посвящена актуальной научной проблеме, имеющей практическое и теоретическое значение. практическая значимость диссертации заключается в том, что разработанный новый метод оценки эффективности интенсификации теплообмена позволяет оперативно определять эффективность способа интенсификации теплообмена в терминах интегральных характеристик канала и может быть использована в инженерной практике. В целом работа выполнена на высоком научно-техническом уровне. Автореферат соответствует и в полном объёме отражает содержание диссертации. По научному уровню, полученным результатам, актуальности, практической и теоретической значимости, оформлению и содержанию диссертация полностью соответствует всем требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 (в редакции постановления Правительства Российской Федерации № 426 от 20 марта 2021 г.) Высшей аттестационной комиссии при Минобрнауки России, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Тема и содержание диссертации полностью соответствуют специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника. Автор работы, Французов Максим Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой

степени кандидата технических наук по специальности 1.3.14. «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Соискатель имеет 21 опубликованную работу по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 12 работ. Из 21 печатной работы: 13 – статьи в научных журналах, 7 – тезисы докладов на конференциях; 1 патент на полезную модель, 1 научная статья написана автором единолично, остальные в соавторстве.

Научные работы соискателя посвящены: компьютерному моделированию процессов теплообмена и гидродинамики в различных элементах теплообменного оборудования, силовых и энергетических установок; вопросам расчетного и экспериментального исследования эффективности интенсификации конвективного теплообмена в каналах.

Личный вклад автора заключается в: разработке метода расчёта теплообмена и гидродинамики для различных способов интенсификации конвективного теплообмена; оценке целесообразности применимости интенсификации конвективного теплообмена в активных системах охлаждения; разработке метода оценки эффективности интенсификации теплообмена в каналах; получении базы данных тепловых и гидравлических характеристик различных способов интенсификации теплообмена, прошедших верификацию и валидацию, на основании авторских экспериментов; разработке и создании экспериментального стенда для исследования различных способов интенсификации конвективного теплообмена в круглой трубе.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.

Наиболее значимые работы:

1. M. S. Frantsuzov, M. A. Ilchenko and A P Koroleva. Experimental comparative research of convective heat transfer enhancement in channels. Journal



2. Computational study of the efficiency of various methods of intensification of convective heat transfer / M.S. Frantsuzov // Journal of Physics: Conference Series, 2021, 2057(1), 012010
3. Цифровые двойники – платформа для управления жизненным циклом авиационных двигателей / Сальников А.В., Гордин М.В., Шмотин Ю.Н., Никулин А.С., Макаров П.В., Французов М.С. // Известия ВУЗов. Сер. "Машиностроение". - 2022. - № 4. - С. 60-72.
4. Проектирование основного теплообменного оборудования ORC-системы для двигателей внутреннего сгорания судовых установок / Антаненкова И. С., Королева А. П., Французов М. С., Сухих А. А., Сычев В. В. // Теплоэнергетика. - 2021. - № 1. - С. 30-42.
5. Результаты численного моделирования двухфазного течения жидкость/газ при постоянных и реальных теплофизических свойствах жидкости в ударно-струйной форсунке / Хлопов А. Д., Французов М. С. // Известия ВУЗов. Сер. "Машиностроение". - 2019. - № 3. - С. 51-60.
6. Исследование влияния рода граничных условий на интегральные характеристики стендового змеевикового теплообменного аппарата / Французов М. С., Лопухов С. А., Королева А. П. // Известия ВУЗов. Сер. "Машиностроение". - 2019. - № 5. - С. 50-57.
7. Валидация методов расчета горения водорода в сверхзвуковом потоке модельного воздуха по экспериментальным данным Бича - Эванса - Шекснайдера / Кукшинов Н. В., Батура С. Н., Французов М. С. // Известия ВУЗов. Сер. "Машиностроение". - 2019. - № 11. - С. 36-45.
8. Математическая модель расчета процесса нестационарного прогрева стенок теплообменного аппарата / Александров В. Ю., Королева А. П., Кукшинов Н. В., Сафонова Д. Б., Французов М. С. // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение. - 2018. - № 5. - С. 4-14.
9. Результаты численного моделирования двухфазного течения

жидкости/газа при постоянных и реальных теплофизических свойствах жидкости / Хлопов А. Д., Французов М. С., Челмодеев Р. И. // Известия ВУЗов. Сер. "Машиностроение". - 2018. - № 10. - С. 63-71.

10. Исследование модели змеевикового теплообменного аппарата с изменяемой геометрией в широком диапазоне чисел Рейнольдса / Французов М. С., Лопухов С. А., Королева А. П. // Известия ВУЗов. Сер. "Машиностроение". - 2018. - № 11. - С. 78-83.

11. Численное моделирование теплообмена и определение тепловых и гидравлических характеристик в стендовом теплообменном аппарате змеевикового типа / Александров В. Ю., Королева А. П., Кукшинов Н. В., Французов М. С. // Известия ВУЗов. Сер. "Машиностроение". - 2017. - № 11. - С. 79-88.

12. Исследование особенностей теплообмена и гидродинамики в пористой среде на примере кубической упаковки шаров / Антаненкова И. С., Королева А. П., Французов М. С. // Тепловые процессы в технике 2019. - Т. 11, № 9. - С. 395 – 403

13. Верификация и валидация компьютерных моделей. / Сальников А.В., Французов М.С., Виноградов К.А., Пятунин К.Р., Никулин А.С. // Известия ВУЗов. Сер. "Машиностроение". - 2022. - № 9. - С. 100-115

14. Численное исследование теплообмена в плоском тракте с вихревыми каналами / Н. В. Кукшинов, М. С. Французов // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2014. – № 1. – С. 325-338. – DOI 10.7463/0114.0696278.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы (все отзывы положительные).

**Отзыв на диссертацию официального оппонента Павленко А.Н.,** доктора физико-математических наук, член-корреспондента РАН, заведующего научно-исследовательской лабораторией ИТ СА РАН содержит замечания:



1. В главе 2 при демонстрации эффекта, достигаемого при использовании интенсификаторов теплообмена для модельного канала, где решалась задача сопряженного теплообмена, детально не представлено влияние геометрических параметров канала, скорости течения и свойств рабочего тела.
2. Автору также целесообразно было бы более четко показать влияние теплопроводности материалов стенки и рассматриваемых интенсификаторов на тепловые и гидравлические характеристики.
3. В главе № 3 при использовании численных методов не представлено исследование точности использованных алгоритмов численного моделирования, в частности, не рассматривается вопрос сходимости по сетке.
4. В главе № 4 при описании методик экспериментального исследования не приводится описание процедуры осреднения температуры тепловыделяющей стенки при расчете тепловых характеристик.
5. По иллюстрациям с результатами компьютерного моделирования, на которых представлены распределения газодинамических параметров (давления, скорости, температуры) не всегда можно установить направление потока.
6. Желательно указать и прокомментировать возможную степень интенсификации теплообмена с помощью самоподдерживающихся акустических колебаний (рассмотренных в 3-й главе) во взаимосвязи с экспериментально установленными в 4-ой главе характеристиками/параметрами по пульсациям давления при интенсификации теплообмена с помощью самовозникающих акустических автоколебаний.
7. В тексте диссертационной работы имеется ряд грамматических ошибок (опечатки, отсутствие запятых, ошибки в окончании слов, отсутствие или наличие лишних пробелов между словами или перед запятыми: см.: стр. 4, 9, 12, 26, 30, 36, 38, 43, 44, 58, 135, 140, 144, 156, 160, 161, 165, 171; в автореферате: стр. 4, 7, 8, 10).



**Отзыв на диссертацию официального оппонента Здитовца А.Г., кандидата технических наук, доцента, и.о. зав. лабораторией НИИ механики МГУ содержит замечания:**

1. В главе 2 не представлены данные расчетов тепловой и динамической характеристики течения в модельном гладком канале, относительно которого проводится сравнения расчетных данных, полученных в канале с интенсификаторами теплообмена в виде прямоугольных выступов.

2. На стр. 89 диссертант утверждает, что «в случае высокочастотных колебаний, когда толщина колеблющегося пограничного слоя много меньше, чем толщина вязкого стационарного подслоя, в первом приближении можно считать, что влияние колеблющегося потока сказывается только в вязком подслое, тогда как в турбулентном ядре профиль скорости квазистационарный». Не понятно, каких данных основано это утверждение.

3. Результаты численного исследования интенсификации в компланарных каналах – характеристики  $Nu(Re)$  и  $\zeta(Re)$  сравниваются со значениями в модельном гладком канале, а температура стенки - почему то с данными в оребренном канале, а в гладком.

4. В диссертации не указано как осуществлялось численное решение системы уравнений RANS. При помощи коммерческого пакета или самостоятельно разработанным кодом?

5. Измерение давления и температуры в экспериментальном исследовании описано недостаточно подробно. Не понятно производится измерения профиля и последующее осреднение данных или только локальные измерения в точке.

6. Не приведены оценки неопределенности косвенного измерения тепловой (критерия Нуссельта) и гидродинамической характеристики течения. На графиках не нанесены пределы неопределенности измерений этих величин.

**Отзыв на диссертацию ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего**

**образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»** содержит замечания:

1. В главе 2 при оценке полного хладоресурса рабочего тела, рассматривается только подогрев охладителя, при этом не производится оценка возможности протекания эндотермических химических реакций.

2. При проведении численного моделирования в третьей главе отсутствуют оценки влияния нестационарности во всех способах интенсификации, кроме самоподдерживающихся акустических колебаний.

3. Не даны границы применимости разработанного автором метода оценки эффективности интенсификации теплообмена.

4. В экспериментальном исследовании не представлены погрешности определения безразмерного коэффициента теплоотдачи – числа Нуссельта и коэффициента гидравлического сопротивления.

**Отзыв на автореферат диссертации ОКБ им А. Люльки – филиал ПАО «ОДК-УМПО»,** составленный кандидатом технических наук, ведущим конструктором Брыкиным Б.В., содержит замечания:

1. В Главе 2 не показаны распределения температуры огневой стенки для гладкого канала. Такие картины течения были бы наглядны для демонстрации наблюдаемого в случае использования интенсификации эффекта.

2. В выводах автор говорит о том, что «верификация метода оценки эффективности интенсификации теплообмена показала, что разница между упрощенной формулой и результатами компьютерного моделирования не превышает 3,5%». Означает ли это, что мы можем использовать упрощенную формулу для проведения оценки? Далее по тексту указано, что погрешность определения параметров по методике не превышает 15% (страница 140).

**Отзыв на автореферат диссертации АО ОКБ «Гидропресс»,** составленный начальником группы отдела 12.01, кандидатом технических наук Волковым В.Ю., содержит замечания:



1. Автор использует  $k-\omega$  SST модель турбулентности, однако не описывает почему был сделан выбор в пользу именно этой модели и какую из ее модификаций он использовал.

2. Автор отмечает, что интенсификация теплообмена с помощью профилей происходит при возникновении самоподдерживающихся акустических колебаний. Однако, им не исследованы частотные характеристики колебаний.

3. Не все величины, приведенные в автореферате описаны.

4. По тексту автореферата имеется ряд пунктуационных и орфографических неточностей, например на странице 13 допущена ошибка в номере формулы.

**Отзыв на автореферат диссертации АО «Тураевское машиностроительное конструкторское бюро «Союз»**, представленный сотрудниками: ведущим научным сотрудником экспериментально-исследовательского отдела кандидатом технических наук, В.М. Петренко, ведущим инженером-конструктором отдела перспективного проектирования пневмогидравлических и тепловых расчетов, кандидатом технических наук, Е.В. Данилкиным содержит замечания:

1. Исследования проведены для каналов неизменного профиля по длине канала и не сказано, как изменение геометрии поперечного сечения канала может повлиять на сравнительные характеристики теплообмена различных интенсификаторов.

2. Не сказано, влияют ли физические характеристики охлаждающего тела на основные результаты, полученные в диссертационной работе.

**Отзыв на автореферат диссертации АО ГНЦ «Центр Келдыша»**, составленный начальником отдела, кандидатом технических наук Караевским А.В., содержит замечания:

1. На рисунках 1 и 3 не указаны единицы измерения температуры.
2. На рисунке 2 приведены два графика различного цвета, но не указано, что каждый из этих графиков иллюстрирует.

3. В формуле (3.14) не дана расшифровка входящих в нее параметров  $n$  и  $m$ .
4. В тексте автореферата не указано, какими средствами выполнялось математическое моделирование теплообмена – с помощью программы собственной разработки автора или коммерческим программным продуктом.

**Отзыв на автореферат диссертации АО «НИКИЭТ»**, составленный главным специалистом отдела теплофизики, кандидатом технических наук Сергеевко К.М., содержит замечания:

1. Автором недостаточно подробно обоснован выбор используемой модели турбулентности, а также не проводится ее полное описание, включая использованные им пристеночные функции, поправки на кривизну линий тока.

2. Автором недостаточно подробно охарактеризованы применяемые им алгоритмы построения расчетной сетки.

3. Автор не объясняет причины хорошего согласования экспериментальных данных с расчетными данными, полученными с применением RANS-модели турбулентности  $k-\omega$  SST, использующей осреднение по Рейнольдсу, которое требует от турбулентности наличия квазистационарности, которая не наблюдается в исследуемых каналах (наличие когерентных структур и т.п.).

**Отзыв на автореферат диссертации производственного комплекса «Салют» АО «ОДК»**, составленный заместителем начальника отдела прочности и тепломассообмена, кандидатом технических наук Гореловым Ю.Г., содержит замечания:

1. В разделе актуальность темы автор указывает на необходимость создания высокоэффективных систем охлаждения ГТУ с использованием различных способов интенсификации конвективного теплообмена, при этом подразумевается некоторая универсальность использования интенсификаторов теплообмена. Однако, во второй главе исследуется интенсификация теплообмена только для каналов охлаждения камеры сгорания ЖРД с интенсификаторами в виде шероховатости и делается вывод



о необходимости поддерживать коэффициент на уровне 0,65 — 0,9 для всех типов каналов охлаждения, не приведены величины данного коэффициента для рабочих, сопловых лопаток турбины ВД ГТУ с использованием теплообменника, без его использования и др. Кроме того из автореферата неясно каким образом при использовании шероховатости будут связаны огневая и силовая стенки (обычно они связаны сплошными ребрами), не исследовано влияние давления водорода на входе в каналы охлаждения от которого зависит его агрегатное состояние и, как следствие, интенсификация теплообмена и гидравлическое сопротивление.

2. В автореферате отмечено, что база данных тепловых и гидравлических характеристик исследованных способов интенсификации, может использоваться в проектно-конструкторских организациях при разработке теплообменных аппаратов. Однако, в авиационных ГТД, использующих воздухо-воздушные теплообменники, установленные во втором контуре, топливно-масляные теплообменники - не удастся использовать приведенные интенсификаторы в связи с существенными ограничениями гидравлических сопротивлений, подобные интенсификаторы используются в химической (нефтеперерабатывающей) промышленности, ЯЭУ и др. В автореферате не указано какой программный продукт использовался для валидации 3D расчетов (ANSYS CFX, Fluent, Star CCM)? В работе проведена валидация 3D расчетных исследований плоских вихревых трактов, однако отсутствует ссылка на основные результаты экспериментальных исследований, полученных в работах Нагоги Г.П. и др. на валидацию 3D расчетных исследований в работах Иганга Луана и др. Из автореферата неясно проводилось ли сравнение расчетных данных по теплообмену и гидравлическому сопротивлению с экспериментальными данными, приведенными в работах В.К. Щукина, А.А. Халатова для скрученной ленты, шнековой вставки и пр.

3. В автореферате приведен критерий снижения потребного расхода ( $K_G$ ), выведенный при условии  $\lambda, c_p, \mu, \rho, \Delta T = const$ , однако в реальности эти величины являются переменными, кроме того, соотношение подразумевается в одной и той же степени для гладкой трубы и каналов с интенсификаторами теплообмена, что не всегда верно. Вывод уравнений для  $K_Q$  проведен при условии  $K_{\Delta p} = 1, K_G = 1$ , однако, в реальности, например, для рабочих лопаток турбины обычно выбирается какой-то один критерий. Более удачным представляется оценка теплопроизводительности при постоянной мощности на прокачку введенная в работе Han J.C. (1985).

**Отзыв на автореферат диссертации ФГБУН Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук,** составленный доктором физико-математических наук, членом-корреспондентом РАН, директором института Якушем С.Е., содержит замечания:

1. Не обсуждается оценка границ применимости предложенной методики и, в частности, формул для эффективности интенсификации.

2. Текст, поясняющий рис. 5, не позволяет понять важные детали верификации, а именно: использовались ли при выборе параметров формулы (3.14) и при верификации одни и те же расчетные данные, т.е. какие данные были положены в основу формулы, а какие использовались при ее верификации.

**Отзыв на автореферат диссертации ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»,** составленный доктором технических наук, профессором, заместителем заведующего кафедрой теплотехники и тепловых двигателей Бирюком В.В., содержит замечания:

1. Неточность оформления рисунков:

1.1 На рисунке 2 непонятно, какие параметры сравниваются на графике.



1.2 Трудно определить изменения  $Nu$  на рисунках (а, б)

2. При оценке критерия эффективности интенсификации теплообмена (рисунок 10) не обращено внимание на контакт интенсификаторов со стенкой. Не оценивается влияние контактного термосопротивления на эффективность теплообмена.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в отрасли науки, к которой относится диссертационная работа Французова М.С., что подтверждается их научными публикациями в данной области.

Выбор Павленко А.Н., доктора физико-математических наук, член-корреспондента РАН, старшего научного сотрудника, обосновывается его большим опытом в области экспериментального исследования сложных теплофизических явлений, в том числе исследования интенсификации теплообмена с использованием модифицированных поверхностей. Статьи Павленко А.Н. регулярно публикуются в рецензируемых научных журналах, в том числе в изданиях, входящих в международные системы цитирования, выступает на российских и международных конференциях. Его работы посвящены проблемам кризисных явлений при кипении.

Выбор Здитовца А.Г., кандидата технических наук, доцента, и.о. заведующего лабораторией, обосновывается его широкой компетентностью в вопросах исследования трения и теплообмена для различных поверхностей. Здитовец А.Г. регулярно публикует статьи по тематике диссертации в рецензируемых журналах, в том числе в международных, а также участвует в конференциях высокого уровня. Здитовец Андрей Геннадиевич в настоящее время занимается исследованием гиперзвуковой аэродинамики.

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» выбрана в соответствии с её высоким уровнем достижений в области тепло- и массообмена. Университет выполняет ряд научно-исследовательских работ, имеющих целью повышение эффективности теплообменного оборудования, широко применяемого для

энергетической, нефтегазовой, двигателестроительной отрасли промышленности. Коллектив кафедры теоретических основ теплотехники им. Вукаловича имеет большое количество учебных пособий и трудов в рецензируемых научных журналах, в том числе в изданиях, входящих в международные системы цитирования. Специалисты ведущей организации, в том числе составившие отзыв на диссертацию, обладают большим опытом изучения тепло- и массообмена.

**Диссертационный совет отмечает. На основании выполненных соискателем исследований:**

- разработан метод оценки эффективности интенсификации теплообмена, основанный на использовании параметров, характеризующих объект интенсификации в целом;
- разработана методика экспериментального исследования для определения тепловых и гидравлических характеристик различных способов интенсификации теплообмена;
- получены результаты экспериментальных и расчетных исследований тепловых и гидравлических характеристик при разных способах интенсификации теплообмена в модельных каналах;
- проведена апробация разработанного метода оценки эффективности интенсификации теплообмена в каналах по результатам проведенных экспериментов;
- выполнена верификация метода оценки эффективности интенсификации теплообмена в каналах.

**Достоверность и обоснованность полученных результатов работы подтверждаются:**

1. Согласованием результатов расчета тепловых и гидравлических характеристик с полученными экспериментальными данными: до 10% для тепловой характеристики и до 6,5% для гидравлической характеристики.
2. Согласованием полученных результатов разработанной методике по оценке эффективности интенсификации теплообмена с использованием



авторской зависимости с результатами, полученными с помощью численного моделирования течения и теплообмена в каналах в пределах 3,5%.

3. Применением аттестованных средств измерений и регистрации газодинамических параметров в экспериментальном исследовании, а также использованием стандартизованных методик обработки результатов экспериментального и соответствующего численного исследований.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

1. Предложенный в работе метод компьютерного моделирования и алгоритм расчета теплообмена в каналах при интенсификации теплообмена позволяет оценивать интегральные параметры течения и геометрию интенсификаторов, что актуально в инженерной практике.

2. База данных тепловых и гидравлических характеристик для различных способов интенсификации теплообмена в каналах, полученная на основании компьютерного моделирования, прошедшая валидацию и верификацию, может использоваться в научно-исследовательских и проектно-конструкторских организациях при проектировании и разработке теплообменных аппаратов.

3. Алгоритм проведенного в работе экспериментального исследования и использованные методики обработки экспериментальных данных позволяет определять эффективность различных способов интенсификации теплообмена на основании интегральных характеристик.

**Личный вклад соискателя состоит в:**

- разработке математической модели расчёта гидродинамики и теплообмена для различных способов интенсификации конвективного теплообмена;

- разработке метода оценки эффективности интенсификации теплообмена в каналах;

- получении базы данных тепловых и гидравлических характеристик различных способов интенсификации теплообмена, прошедших валидацию на основании экспериментов, проведенных соискателем;

- разработке схемы и создании экспериментального стенда для исследования различных способов интенсификации конвективного теплообмена в круглой трубе.

Диссертация Французова М.С. является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи по разработке метода оценки эффективности интенсификации конвективного теплообмена в каналах. Представленная диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук, удовлетворяет всем критериям, приведённым в «Положении о присуждении учёных степеней».

На заседании 10.04.2023 г. Диссертационный Совет принял решение присудить Французову М.С. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования Диссертационный Совет в количестве 15 человек, из них 6 докторов наук по специальности 1.3.14., участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 15, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель Диссертационного Совета

д. техн. наук, профессор



Равикович Юрий Александрович

Учёный секретарь Диссертационного Совета

д. техн. наук, доцент

Краев Вячеслав Михайлович

10 апреля 2023 г.