

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.310.03,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК  
МИРОНОВА АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧА

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от «16» января 2025 г., № 1

О присуждении Миронову Александру Александровичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Теплообмен и гидродинамика при течении однофазного теплоносителя в щелевых каналах с поверхностными вихрегенераторами различной формы» по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника принята к защите «14» ноября 2024 г. (протокол заседания № 12) диссертационным советом 24.2.310.03, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» (ФГБОУ ВО «КГЭУ»), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51, приказ № 836/нк от 20.04.2023 г.

Соискатель Миронов Александр Александрович родился 28 июня 1993 года.

В 2021 г. соискатель окончил аспирантуру ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ» по направлению подготовки 24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника», направленность 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая

теплотехника» (диплом 101604 0046886, регистрационный номер 028). В 2024 году был прикреплен к ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ» для сдачи кандидатских экзаменов по специальности 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника».

Работает в должности инженера-электрика ООО «Энерго Инжиниринг», г. Казань.

Диссертация выполнена на кафедре теплотехники и энергетического машиностроения ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теплотехники и энергетического машиностроения ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ» Попов Игорь Александрович.

Официальные оппоненты:

1. Терехов Виктор Иванович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории термогазодинамики ФГБУН «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН», заслуженный деятель науки РФ, г. Новосибирск;

2. Плотников Леонид Валерьевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры турбин и двигателей ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург.

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт Петербург, в своём положительном отзыве, утвержденном проректором по научной работе, к.ф.-м..н. Фоминым Юрий Владимирович, подписанным профессором Высшей школы атомной и тепловой энергетики, директором научно-образовательного

центра «Теплофизика в энергетике», д.т.н., профессором Сапожниковым Сергеем Захаровичем и доцентом Высшей школы атомной и тепловой энергетики, к.т.н. Сероштановым Владимиром Викторовичем, указала, что в работе содержится решение задач, имеющих теоретическую и практическую ценность для теплового и гидравлического расчета и создания высокоэффективного теплообменного оборудования для энергетики, энергоемких отраслей промышленности, транспортных систем и т.д. В заключение отзыва указано, что диссертационная работа соответствует требованиям пунктов 9-14, установленными Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 30 января 2002 г. № 74 (в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Мионов Александр Александровичем, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника.

Соискатель имеет 32 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 32 работы общим объемом 11,501 печатных листов и авторским вкладом 2,875 печатных листов; из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus опубликовано 4 работы, объёмом 1,875 печатных листов и авторским вкладом 0,312 печатных листа; в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России по специальности диссертации опубликовано 5 работ, объёмом 2,813 печатных листа и авторским вкладом 0,469 печатных листа; 3 патента на изобретение Российской Федерации, объёмом 1,5 печатных листа и авторским вкладом 0,188 печатных листа; в 1 международном рецензируемом научном журнале, объёмом 0,625 печатных листа и авторским вкладом 0,156 печатных листа; в материалах и тезисах российских и международных научных конференций опубликовано 19 работы общим объёмом 4,688 печатных листа и авторским вкладом 1,875 печатных

листа.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

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. Аксянов, А.Н. Скрыпник** // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2020. № 1. С. 134-140.
3. Баранова, Т.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. Исаев, С.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. Исаев, С.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. Т.50. №20. С.20-23.
6. **Mironov, A.** Numerical and physical simulation of heat transfer enhancement using oval dimple vortex generators —Review and recommendations / **A. Mironov, S.Isaev, A.Skrypnik, I.Popov** - Energies, 2020, 13(20), 5243
7. Skrypnik, A.N. Thermal-hydraulic performance of a single round tube with surface vortex generators / A.N. Skrypnik, A.D. Chorny, I.A. Popov, P.T. Kadyrov, **A.A.**

**Mironov, Yu.V. Zhukova, T.A. Baranova, G.S. Marshalova, E.S. Danilchik** - Heat Transfer Research. 2022. T. 53. № 9. С. 29-41.

8. Isaev, S.A. Heat transfer enhancement using oval-trench vortex generators / S.A. Isaev, **A.A. Mironov**, I.A.Popov, A.N.Skrypnik, A.V.Shelchkov - AIP Conference Proceedings, 2020, p. 080004

9. **Mironov, A A** Numerical and Physical Simulation of Heat Transfer Enhancement Using Vortex Generators / **A A Mironov**, S A Isaev, I A Popov, A N Skrypnik, N S Dushin, N I Mikheev. - IOP Journal of Physics: Conference Series, 2020, №1677. P.012022

10. **Миронов, А.А.** Повышение эффективности котлов для сжигания древесных отходов / **А.А. Миронов**, И.А. Попов, А.Н. Скрыпник, Г.С. Маршалова // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2020. № 1 (228). С. 237-246.

На диссертацию и автореферат поступило 18 отзывов. Все они положительные, с замечаниями – 17.

Отзывы прислали:

1. Доктор технических наук, профессор кафедры «Турбины и двигатели» Уральского энергетического института Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина Аронсон Константин Эрленович.

*Замечания:*

1) как изменится показатель теплогидравлической эффективности исследованных поверхностей при изменении числа  $Re$ ?

2) как может измениться коэффициент лобового сопротивления плохообтекаемых тел, например, шара при замене сферических выемок на поверхности тела овальными выемками?

2. Доктор технических наук, начальник отдела нестандартных теплотехнических измерений Управления НИР и НИОКР в области теплофизики АО «ЭНИЦ» Болтенко Эдуард Алексеевич.

*Замечание:*

1) из текста не ясно, из каких соображений выбирались форма и размеры интенсификатора.

3. Доктор технических наук, член-корреспондент РАН, профессор, директор института тепловой и атомной энергетики государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (НИУ «МЭИ») Дедов Алексей Викторович.

*Замечания:*

1) не ясно как осуществляется обогрев рабочего участка, сводился ли тепловой баланс и как учитывались тепловые потери?

2) нет указаний на способ заделки термопар, измеряющих температуру поверхности, как они размещались?

3) при формулировке выводов об интенсификации нет привязки к режиму течения, указаний в каком диапазоне чисел Рейнольдса получены наилучшие результаты.

4. Кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Гидродинамики и теплообмена» Института энергетики и перспективных технологий – структурного подразделения ФИЦ Казанский научный центр РАН Душин Николай Сергеевич, кандидат технических наук, инженер-исследователь лаборатории «Гидродинамики и теплообмена» Института энергетики и перспективных технологий – структурного подразделения ФИЦ Казанский научный центр РАН Шакиров Радиф Рустямович.

*Замечания:*

1) формулировка универсальных рекомендаций подразумевает обобщение данных для широкого диапазонов типов и геометрических параметров поверхностных интенсификаторов теплообмена, однако в работе рассмотрены только некоторые из них. Соответственно, весовые коэффициенты, определенные при обучении нейронной сети, могут измениться;

2) само по себе использование современных программных комплексов,

компьютерных технологий и техники для обработки и прогнозирования данных не является гарантом получения достоверных данных. Необходимо понимать особенности используемых методов и программ, проводить сравнительную оценку с результатами, полученными другими способами;

3) выстроенная в работе линия исследований и многогранность используемых подходов заслуживают высоких оценок, но в то же время перегружает автореферат и работу в целом, не позволяет отразить в рамках установленных требований к объему автореферата важные аспекты исследований. Например, нельзя понять, теплоизолировалась ли в экспериментах обратная сторона нагреваемой пластины и как оценивались утечки теплоты, как между собой соотносятся высота канала и глубина выемок, набор каких ядер (математических функций) включен в модель нейронной сети и связи проведены между ядрами;

4) исследования фокусируются на луночных интенсификаторах теплообмена, которые значительно увеличивают площадь поверхности по сравнению с гладкими стенками. Насколько обосновано игнорировать площади поверхности при определении коэффициентов теплоотдачи?

5) в работе присутствуют разночтения между полученными коэффициентами теплогидравлической эффективности и характером течения в выемках исследованных форм;

6) текст содержит опечатки и аббревиатуры без расшифровки.

5. Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплофизика» ГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана» (национальный исследовательский университет) Егоров Кирилл Сергеевич.

*Замечания:*

1) вся работа посвящена теплообмену и гидравлическому сопротивлению в каналах прямоугольной формы. Но основной интерес интенсификаторы теплообмена представляют при использовании в трубах или цилиндрических каналах (трубчатые теплообменники, жаровые трубы камер сгорания газотурбинных двигателей). Насколько полученные в диссертации результаты

могут применимы в таких каналах? Может следовало бы провести хотя бы численное моделирование?

2) в главе 5 выполнено численное моделирование выемок в форме бумеранга, но нет сравнение его с физическим экспериментом для верификации.

6. Кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории турбулентности государственного научного учреждения «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси» Жукова Юлия Владимировна.

*Замечания:*

1) из текста автореферата не ясно, оценивалась ли толщина пограничного слоя, которая в данной постановке задачи будет определять высоту щелевого канала;

2) было бы полезно привести на одном графике или диаграмме теплогидравлическую эффективность овально-траншейных выемок и выемок в форме бумеранга для оценки более перспективного интенсификатора.

7. Доктор технических наук, профессор кафедры «Высокоэнергетические процессы и агрегаты» Набережночелнинского института (филиала) ГАОУ ВО «Казанский (Поволжский) федеральный университет» Карелин Дмитрий Леонидович.

*Замечание:*

1) в рекомендациях по практическому применению результатов исследований интенсификаторов теплообмена желательно привести типы теплообменных аппаратов, для которых данное решение даст наибольший эффект.

8. Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Тепловая и топливная энергетика» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» Ковальногов Владислав Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедрой «Тепловая и топливная энергетика» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»



Хахалева Лариса Валерьевна.

*Без замечаний.*

9. Доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории распределенной генерации Объединенного института высоких температур РАН Корценштейн Наум Моисеевич.

*Замечания:*

1) согласно реферата, автор проанализировал работы за последние 20 лет. Видимо, с этим связано отсутствие в разделе «Степень разработанности» среди перечисленных имен фамилии Дрейцера Г.А., который с соавторами в 1981 году получил диплом на открытие «Закономерности изменения теплоотдачи на стенках каналов с дискретной турбулизацией потока при вынужденной конвекции»;

2) в разделе «Личный вклад» среди перечисленного есть «изготовление поверхностей с вихрегенераторами», однако отсутствует «проведение экспериментов», результаты которых выносятся на защиту;

3) в тексте после выражений (1) и (2) не определены величина  $F_k$ , а также определяющие параметры для вычисления чисел Рейнольдса и Нуссельта;

4) непонятно, почему эффективность  $E$  на стр.11 и 19 определяются разными формулами;

5) текст автореферата выиграл бы при замене многократного повторения фразы типа «в работе автора NN» ссылкой на работу в списке цитируемой литературы.

10. Доктор технических наук, профессор кафедры инженерной теплофизики ГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (НИУ «МЭИ»)) Кузма-Кичта Юрий Альфредович.

*Замечания:*

1) исследованы углубления только при одностороннем их нанесении в каналах и фиксированных геометрических параметрах – выбранных компоновке, шаге, расположении, одной относительной глубине и одной относительной длине;

2) результаты численных исследований углублений вида бумеранг не верифицированы в опытах;

3) в работе не анализируется влияние шероховатости поверхности.

11. Доктор физико-математических наук, профессор научно-образовательного центра И.М. Бутакова Инженерной школы энергетики ГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» Кузнецов Гений Владимирович.

*Замечание:*

1) автор привел данные только по результатам оценки случайных ошибок измерений (неопределенностей). Но все использовавшиеся автором в диссертации средства измерений (датчики давления и температуры) имеют систематические ошибки (неопределенности). Численные значения таких, можно сказать, методических ошибок в автореферате не приведены;

12. Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника» ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» Панкратов Евгений Владимирович.

*Замечания:*

1) на странице 19 автореферата при описании пятой главы приведено уравнение, по которому рассчитывалась теплогидравлическая эффективность  $E = (Nu/Nu_0) / (\xi/\xi_0)^{0,3}$ . Для чего используется показатель 0,3? Почему данный показатель отсутствует при описании теплогидравлической эффективности на странице 12 автореферата при описании третьей главы?

2) в пятой главе проведено исследование предложенной и запатентованной автором конструкции нового поверхностного интенсификатора в форме бумеранга. Проводилась ли верификация полученного численного расчета с экспериментальными данными.

13. Доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Теплофизика» ГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана» (национальный исследовательский университет) Рыжков Сергей Витальевич.

*Замечания:*

1) в автореферате не обоснован выбор в качестве объекта исследования именно щелевых каналов;

2) предложенные интенсификаторы теплообмена при нанесении на одну из сторон могут сочетаться с выступами подобной же формы в смежном канале, однако в автореферате нет комментариев по поводу оценки теплоотдачи и гидравлического сопротивления в каналах с выступами;

3) каким образом планируется наносить исследованные вихрегенераторы в технических устройствах?

4) для вихрегенераторов в виде бумеранга проведены только численные исследования и только для одиночного вихрегенератора. Показан перспективность данного вихрегенератора, однако нет экспериментальной верификации полученных данных.

5) в работе исследованы многорядные и однорядные системы выемок, однако количество возможных компоновок выемок в системах ограничено. Ведь выемки можно расположить на поверхности лестницей, елочкой и т.д. Можно ли использовать полученные результаты для других компоновок систем выемок на поверхности?

14. Доктор физико-математических наук, профессор, профессор научно-образовательного центра И.Н. Бутакова, заведующий лабораторией теплопереноса Национального исследовательского Томского политехнического университета Стрижак Павел Александрович.

*Замечания:*

1) при описании экспериментального стенда важно прокомментировать систематические и случайные погрешности измерений для понимания рассева данных. В автореферате приведены данные в безразмерном виде. В каждый из комплексов входит несколько измеренных параметров. Важно отметить точность их определения;

2) при постановке задач диссертации принимались допущения, использована ограниченная выборка параметров, схем и материалов. Важно

привести обоснования выбора;

3) в выбранном направлении исследований получено достаточно много данных с пояснением эффективности теплообмена при разных подходах. Для понимания ниши автора целесообразно выполнить мультикритериальный сравнительный анализ своих результатов и коллег с определением условий, при которых предложенные решения более эффективны.

15. Кандидат технических наук, доцент кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» Сухоцкий Альберт Борисович.

*Замечания:*

1) Определение среднего коэффициента теплоотдачи (формула 2) по гладкой поверхности (без учета развития поверхности углублениями) приводит к неоднозначности оценки влияния геометрии вихрегенераторов на тепловую эффективность. Для полноты картины в работе необходимо было бы приводить коэффициент увеличения поверхности теплообмена для каждого типа пластины с интенсификаторами.

2) В работе приводится исследование щелевого канала с односторонним расположением системы выемок, что обычно не применяется на практике. Из-за этого возникает вопрос о переносимости и использовании полученных результатов в реальных установках.

3) В формулах 3 и 4 нет параметра – высоты канала. Либо этот параметр не влияет на теплогидравлические характеристики канала, либо формулы 3 и 4 представлены для канала определенной высоты, что существенно ограничивает их использование.

16. Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Цынаева Анна Александровна.

*Замечания:*

1) из автореферата не ясно, при проверке адекватности полученных экспериментальных данных посредством сравнения с данными Исаева С.А.

проведена ли оценка критерия Фишера или критерия Дарбина-Уотсона, либо коэффициент детерминации, т.к. визуальная оценка (рис.7) не достаточно информативна;

2) из автореферата не ясно, выполнялось ли сравнение эффективности теплообменной поверхности типа бумеранга с теплообменными поверхностями сложной формы (например, патент РФ 2751425, авторы: Горелов Ю.Г., Назаров А.А.).

17. Доктор физико-математических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской лабораторией моделирования процессов конвективного теплопереноса ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» Шерemet Михаил Александрович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теоретической механики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» Мирошниченко Игорь Валерьевич.

*Замечания:*

1) в пятой главе приводятся результаты численного исследования гидравлического сопротивления и теплоотдачи в каналах с системами выемок в виде бумеранга. В описании главы автор указывает, что «Постановка задачи, математическая модель и технология решения идентичны ранее описанным численным исследованиям в работах С.А. Исаева». Необходимо четко сформулировать отличительные особенности проведенного в главе 5 численного исследования от ранее опубликованных работ С.А. Исаевым;

2) из автореферата не ясно, какие граничные условия использовались при решении рассматриваемой системы уравнений для кинетической энергии  $k$  и удельной диссипации  $\omega$ ?

18. Доктор технических наук, профессор, начальник отдела «Двигатели и химмотология» ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова» Яновский Леонид Самойлович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник сектора теплофизики отдела «Двигатели и химмотология» ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова» Байков Алексей Витальевич.

*Замечания:*

1) из материалов автореферата неясно, чем и насколько предлагаемые автором интенсификаторы лучше уже известных аналогов;

2) В какой жидкости предлагаемые автором интенсификаторы теплообмена более эффективны: в капельной или сжимаемой жидкости?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их известностью своими достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследований и их квалификацией определять научную и практическую ценность диссертации.

Официальный оппонент Терехов Виктор Иванович – доктор технических наук 01.04.14 - Теплофизика и молекулярная физика, является крупным специалистом в области теории пограничного слоя, тепломассо- обмена в энергетических установках, отрывных, вихревых и высокотурбулентных потоков, методов управления теплообменом, сложных турбулентных и двухфазных потоков, пристенных и импактных струй, проблем энергоресурсосбережения, экспериментальных методов аэродинамических и теплофизических исследований, автор 276 научных работ.

Официальный оппонент Плотников Леонид Валерьевич – доктор технических наук по специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника», является специалистом в области экспериментальных и численных исследований гидродинамики и теплообмена в каналах сложной формы, систем, узлов и агрегатов двигателей, прикладной аэродинамики, автор 154 научных и научно-методических работ.

Выбор ведущей организации – ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» г. Санкт Петербург обусловлен тем, что организация широко известна своими достижениями в области исследований интенсификации тепломассообмена и гидрогазодинамики, а также в области постановки теплофизических экспериментов с использованием современных методов и устройств измерения тепловых характеристик. Обладая мощным научным потенциалом и существенным опытом практической

деятельности, способна оценить научную и практическую ценность диссертации.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**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;

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

**предложены** рекомендации по выбору рациональных размеров поверхностных интенсификаторов в виде овально-траншейных, овально-дуговых выемок и выемок в форме бумеранга, а также рациональные размеры интенсификаторов для турбулентного режима течения;

**доказаны** на основе новых результатов экспериментальных исследований уровни изменения гидравлического сопротивления и повышения теплоотдачи и теплогидравлической эффективности при использовании в щелевых каналах с поверхностными вихрегенераторами в виде различных компоновок систем овально-траншейных и овально-дуговых выемок в условиях вынужденной конвекции;

**доказано** влияние режимных и геометрических параметров для систем выемок овально-траншейной и овально-дуговой формы на уровни величин коэффициентов теплоотдачи и гидравлического сопротивления;

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказана** возможность использования подхода к прогнозированию значений коэффициентов теплоотдачи и гидравлического сопротивления в зависимости от геометрических параметров поверхности с использованием

искусственной нейронной сети;

**изложены** новые сведения о гидродинамике и теплоотдаче в каналах с системами выемок различных форм в условиях вынужденной конвекции;

**изложены** результаты верификации ранее выполненных численных исследований по гидродинамике и теплообмену в каналах с различными типами вихрегенераторов;

**раскрыты** механизмы интенсификации теплоотдачи в каналах с поверхностными вихрегенераторами в виде различных компоновок систем овально-траншейных и овально-дуговых выемок;

**изучено** влияние основных определяющих режимных и геометрических параметров на коэффициенты 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.

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

**разработаны и внедрены** новые рекомендации по выбору рациональных геометрических параметров поверхностных интенсификаторов теплообмена, позволяющие производить расчет и проектирование систем охлаждения энергетического оборудования и теплообменных аппаратов. Результаты могут использоваться при выполнении работ по разработке новых конвективно-пленочных систем охлаждения газовых турбин и систем охлаждения высокотеплонагруженных элементов электроники;

**определены** области использования полученных результатов по интенсификации теплоотдачи в щелевых каналах при одностороннем нанесении выемок;

**созданы** образцы теплообменных поверхностей с вихрегенераторами в виде различных компоновок систем овально-траншейных и овально-дуговых выемок;

**представлены** результаты экспериментальных исследований



коэффициентов 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.

**Оценка достоверности результатов исследований выявила:**

**для экспериментальных работ** использованы апробированные методики и современная аттестованная измерительная аппаратура с соответствующим уровнем точности;

**теория** не противоречит известным из литературы результатам теоретических и экспериментальных работ других авторов;

**идея базируется** на анализе гидродинамической картины обтекания выемок различной формы и на ранее опубликованных результатах численных исследований;

**использованы** современные методы исследования теплогидравлических характеристик каналов теплообменного оборудования с оценкой неопределенности, что позволяет сравнивать полученные результаты с данными других авторов;

**установлено** качественное и количественное согласование теплогидравлических характеристик каналов с интенсификаторами, для которых имеются литературные данные;

**использованы** современные методы обобщения и обработки данных с применением компьютерных технологий и технических средств для обработки и прогнозирования данных.

**Личный вклад соискателя** состоит в модернизации экспериментальных установок и создании рабочих участков, разработке методик проведения и обработки результатов экспериментальных исследований картин течения, коэффициентов теплоотдачи и гидравлического сопротивления в щелевых каналах с поверхностными интенсификаторами, проведении критического анализа описанных в литературе исследований и выявлении рациональных размеров предложенных интенсификаторов теплоотдачи, изготовлении

теплообменных поверхностей с поверхностными интенсификаторами теплоотдачи в форме овально-траншейных и овально-дуговых выемок; в проведении всех экспериментальных исследований и анализе полученных результатов, в использовании метода искусственных нейронных сетей; проведении и анализе результатов численного течения и теплоотдачи в каналах с интенсификаторами в форме бумеранга, в подготовке основных публикаций по выполненной работе, в апробации результатов исследования на всероссийских и международных конференциях.

**Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования.** Полученные в рамках диссертационного исследования сведения по оценке и прогнозированию уровней коэффициентам гидравлического сопротивления и теплоотдачи в щелевых каналах с различными системами выемок различных форм при одностороннем нанесении могут использоваться в системах охлаждения на предприятиях производящих лопатки газовых турбин, технологическое теплообменное оборудование, в частности, спиральные теплообменники; на предприятиях, занимающихся разработкой проточных водных и воздушных систем охлаждения электронного оборудования и высокотеплонагруженных элементов.

В ходе защиты диссертации существенных критических замечаний по научной новизне и значимости работы для науки и практики высказано не было.

Соискатель Миронов Александр Александрович аргументировано ответил на замечания и задаваемые ему в ходе заседания вопросы. С рядом высказанных замечаний соискатель согласился.

**Заключение.** Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация Миронова Александра Александровича «Теплообмен и гидродинамика при течении однофазного теплоносителя в щелевых каналах с поверхностными вихрегенераторами различной формы» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, где получены новые экспериментальные и расчетные данные по

интенсификации теплоотдачи и изменению гидравлических сопротивлений в каналах с системами новых типов интенсификаторов теплоотдачи, а также даны рекомендации по рациональным размерам данных интенсификаторов теплоотдачи. Работа соответствует критериям, установленным пп. 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 16 января 2025 года диссертационный совет принял решение за новые научно-обоснованные технические решения и рекомендации по повышению эффективности теплоэнергетического и теплообменного оборудования за счет использования новых высокоэффективных интенсификаторов теплоотдачи, присудить Миронову Александру Александровичу учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 11 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 17, против «нет», недействительных бюллетеней «нет».

Председатель

диссертационного совета

Дмитриев Андрей Владимирович

Ученый секретарь

диссертационного совета

Борисова Светлана Дмитриевна

«16» января 2025 г.



*Александрович А. В. Борисовой С. Д.*  
ПОДПИСАНИЕ ДОКТОРА  
Специалист ОК *В. А. Рабироулина* О. А.