

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

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от «20» марта 2025 г., № 5

О присуждении Бадретдиновой Гузель Рамилевны, гражданке Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Теплообмен при конденсации парогазовых смесей с твердыми частицами на оребренных поверхностях в теплообменных аппаратах» по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника принята к защите «16» января 2025 г. (протокол заседания № 2) 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 Бадретдинова Гузель Рамилевна родилась 6 декабря 1996 года.

В 2021г. окончила ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» по направлению подготовки 16.04.01 Техническая физика, профиль «Теплофизика» (диплом магистра с отличием 101635 0000289 рег. номер № ITE-7390 от 08.07.2021г).

С 1 октября 2021 г. по настоящее время Бадретдинова Гузель Рамилевна обучается в очной аспирантуре в ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и



астрономия» по специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Работает на кафедре «Автоматизация технологических процессов и производств» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» в должности старшего преподавателя.

Диссертация выполнена на кафедре «Автоматизация технологических процессов и производств» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Дмитриев Андрей Владимирович, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», заведующий кафедрой «Автоматизация технологических процессов и производств».

Официальные оппоненты:

1. Гаряев Андрей Борисович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Тепломассообменные процессы и установки» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва.

2. Лопатин Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Реактивные двигатели и энергетические установки» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Казань.

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», г. Иваново, в своём положительном отзыве, утвержденном проректором по научной работе, д.т.н., профессором Тютиковым Владимиром Валентиновичем, подписанным профессором кафедры «Теоретические основы теплотехники», директором учебно-методического центра ИГЭУ «Энергосбережение», д.т.н., профессором Бухмировым Вячеславом Викторовичем и заведующим кафедрой «Теоретические основы теплотехники», д.т.н., доцентом Бушуевым Евгением



Николаевичем, указала, что в работе содержится решение задач, имеющих теоретическую и практическую ценность для расчета процессов конденсации парогазовых смесей, сопровождающихся образованием твёрдых отложений на теплопередающих поверхностях и создания высокоэффективного теплообменного оборудования для энергетики, энергоемких отраслей промышленности, транспортных систем и т.д. В заключении 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, Бадретдинова Гузель Рамилевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника.

Соискатель имеет 18 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 18 работ общим объемом 5,93 печатных листов и авторским вкладом 3,07 печатных листов; из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, опубликовано 2 работы, объёмом 0,81 печатных листов и авторским вкладом 0,45 печатных листа; в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России по специальности диссертации, опубликовано 4 работы, объёмом 2,25 печатных листа и авторским вкладом 1,05 печатных листа; в других изданиях, в материалах и тезисах российских и международных научных конференций опубликовано 11 работ общим объёмом 2,87 печатных листа и авторским вкладом 1,57 печатных листа; 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

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. Особенности решения задачи о конденсации пара, содержащего



твёрдые частицы на ребре / Н.Д. Якимов, А.В. Дмитриев, **Г.Р. Бадретдинова**, С.Д. Борисова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 3. С. 121–129.

2. Оценка моделей турбулентности при внешнем обтекании нагреваемой трубы / **Г.Р. Бадретдинова**, И.Р. Калимуллин, В.Э. Зинуров, А.В. Дмитриев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2023. Т. 25. № 2. С. 176–186.

3. Конденсация парогазовой смеси с твердыми частицами на поверхности оребренных труб / **Г.Р. Бадретдинова**, Н.Д. Якимов, А.В. Дмитриев, И.Р. Калимуллин // Вестник МЭИ. 2024. № 3. С. 72–77.

4. Теплоотдача при движении воды в трубе при температурах, близких к температурам кипения в переходном режиме / **Г.Р. Бадретдинова**, А.В. Дмитриев // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2024. № 5. С. 42–51.

5. Calculation of Sediment Formation on Finned Heat Exchanger Tubes on Condensation of a Vapor–Gas Mixture with Solid Particles / A.V. Dmitriev, N.D. Yakimov, V.V. Khar'kov, **G.R. Badretdinova** // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2023. P. 1–8.

6. Condensation of Water from a Vapor-Air Mixture on a Surface with Annular Round Straight Ribs of Constant Thickness / **G.R. Badretdinova**, O.S. Popkova, A.V. Dmitriev, I.R. Kalimullin // 2024 6th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). IEEE, 2024. P. 1–5.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024681667 Российская Федерация. Программа для решения задач образования отложений на поверхности оребренных труб теплообменных аппаратов при конденсации парогазовой смеси / Н.Д. Якимов, **Г.Р. Бадретдинова**, А.В. Дмитриев; заявл. № 2024680683, 09.09.2024; опубл. 12.09.2024. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 12.09.2024.

8. Восстановление поверхности теплообмена в условиях ее загрязнения при конденсации парогазовой смеси / А.В. Дмитриев, **Г.Р. Бадретдинова**, С.Д. Борисова, А.Н. Николаев // Известия высших учебных заведений. Проблемы



энергетики. 2022. Т. 24. № 1. С. 176–185.

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов. Все они положительные, с замечаниями – 6.

Отзывы прислали:

1. Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленной теплоэнергетики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» Банников Александр Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» Козлова Мария Владимировна.

*Замечания:*

1) из текста автореферата не ясно с какой начальной влажностью паровоздушная смесь поступает в теплообменный аппарат при проведении экспериментальных исследований. В этой связи возникает вопрос: какова зона охлаждения паровоздушной смеси в теплообменном аппарате и какова зона конденсации при проведении экспериментальных исследований и разработке математических моделей?

2) в тексте автореферата приведена зависимость критерия  $Nu$  от критерия  $Re$  для течения жидкости в переходном режиме. Какова область применения зависимости? Возможно ли ее использование не для воды, а для других видов энергоносителей?

2. Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика», проректор по интеграционным проектам федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» Еремин Антон Владимирович.

*Замечания:*

1) несмотря на высокий уровень работы, можно отметить, что в



автореферате недостаточно подробно освещены вопросы, связанные с эрозионным износом теплообменных поверхностей. Это направление могло бы стать перспективным для дальнейших исследований.

2) кроме того, было бы полезно расширить анализ влияния различных типов твердых частиц на процесс загрязнения и теплообмена.

3. Кандидат технических наук, главный специалист по инновационной деятельности ООО Управляющей Компании «Шешмаойл» Исаев Анатолий Андреевич.

*Замечания:*

1) на стр. 7 не ясно, какие именно твердые частицы рассматривались в математической модели образования отложений.

2) на стр. 13 указано, что для поддержания теплового потока необходимо смывать отложения, но не указано, чем смывать. Химией, водой? Каким расходом смывать? Также не указано каким способом восстанавливать поверхность в теплообменном аппарате.

4. Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Промышленная теплотехника» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина» Мракин Антон Николаевич.

*Замечания:*

1) из текста автореферата не ясно, каким образом осуществлялся нагрев воды до установки теплообменного аппарата с оребренными трубами?

2) возможно ли использовать разработанную математическую модель для расчета процесса образования отложений на других поверхностях, имеющих оребрение другой формы?

5. Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция им. В.И. Шарапова» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный технический университет» Ротов Павел Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, исполняющий обязанности заведующего кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция им.



В.И. Шарапова» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный технический университет» Орлов Михаил Евгеньевич.

*Замечания:*

1) не вполне ясен физический смысл величины  $\Lambda = \lambda_r \delta_r$  – термическая проводимость ребра, Вт/К, используемый в уравнении (1) на с. 7 автореферата и далее. Обычно при теплопроводности под термической (тепловой) проводимостью понимают отношение  $\lambda_r / \delta_r$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К).

2) из автореферата не ясно, как учитывался размер твердых частиц при разработке математической модели образования отложений на внешней поверхности оребренных труб в теплообменном аппарате при конденсации парогазовой смеси, содержащей твердые частицы.

3) из теории теплообмена известно, что при конвективном теплообмене в пучках труб происходит «затенение» последующих рядов труб в пучке предыдущими, что оказывает влияние на величину коэффициента теплоотдачи каждого ряда. Учитывалось ли каким-либо образом при расчете значений коэффициента теплоотдачи в U-образных оребренных трубах теплообменника «затенение» 2-й по ходу потока трубы, изображений на рис. 4 автореферата.

6. Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплогазоводоснабжения федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Вологодский государственный университет» Павлов Михаил Васильевич.

*Замечания:*

1) рекомендуется дополнительная верификация разработанной трехмерной математической модели тепло- и массообмена в трубах с температурными режимами близкими к кипению для различных типов труб и условий эксплуатации.

2) вывод о том, что трубы со спиральным оребрением увеличивают интенсивность теплоотдачи, является вполне закономерным, однако не представляется достаточно обоснованным в рамках настоящего исследования. В целях обоснования рекомендуется привести точные сравнения с



промышленными теплообменниками, имеющие различные типы оребрения поверхностей.

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 Горяев Андрей Борисович – доктор технических наук по специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика, является крупным специалистом в области теплообмена при химических и фазовых превращениях, распространения примесей в атмосфере, совершенствования методов расчёта аппаратов и установок для глубокой утилизации теплоты влажных газов и разработки мер по повышению эффективности её использования, автор 115 научных и научно-методических работ.

Официальный оппонент Лопатин Алексей Александрович – кандидат технических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы, является специалистом в области экспериментальных и численных исследований гидравлических и тепловых характеристик каналов с пространственными решётчатыми структурами, в том числе механизмов теплоотдачи в условиях свободной конвекции, автор 61 научной работы.

Выбор ведущей организации – ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» г. Иваново обусловлен тем, что организация широко известна своими достижениями в области исследований интенсификации теплообмена 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, сотрудники организации способны оценить научную и практическую ценность диссертации.

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



**разработаны** математические модели процесса образования отложений на поверхности цилиндрических и прямых ребер в теплообменных аппаратах при конденсации парогазовой смеси, содержащей твердые частицы;

**предложено** автомодельное решение задачи о конденсации на прямом ребре парогазовой смеси, содержащей твердые частицы;

**доказана** применимость разработанной трёхмерной модели, позволяющая рассчитывать характеристики тепло- и массообмена при движении воды в трубе при значениях температур, близких к температурам кипения, в переходном режиме течения;

**введены** предположения для упрощения математических моделей, в которых ребро и отложения моделируются одномерными функциями температуры и толщины, при этом толщина отложений пропорциональна количеству конденсата, а скорость его образования зависит от теплового потока.

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

**доказана** применимость модели Ли для решения задач течения воды в трубопроводе при ее частичном испарении;

**изложены** результаты экспериментальных и численных исследований интенсивности теплоотдачи в условиях внешнего обтекания оребренной трубы и при движении воды внутри трубы в процессе конденсации парогазовой смеси;

**изучено** численно влияние образования отложений на наружной поверхности ребра на тепловой поток при изменении геометрических параметров поверхности оребренной трубы и теплофизических параметров парогазовой смеси, содержащей твердые частицы, при ее конденсации;

**доказано**, что метод численного моделирования, основанный на модели «Mixture», которая рассматривает пар как совокупность мелких капель, а также на уравнениях испарения и конденсации по модели Ли, может быть эффективно применён для оценки интенсивности теплообмена в зависимости от характеристик поверхности теплообмена и технологических параметров парогазовой смеси;



**проведена модернизация** математической модели, описывающей процесс теплообмена на цилиндрическом чистом ребре с теплообменом без образования отложений твердых частиц на его поверхности в процессе конденсации парогазовой смеси.

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

**разработаны и внедрены** методики определения толщины слоя отложений на наружной поверхности цилиндрического ребра, а также методики определения влияния отложений на изменение теплового потока, методика расчёта времени работы теплообменного аппарата при конденсации парогазовой смеси, содержащей твёрдые частицы, в условиях восстановления поверхности путём смывания отложений водой;

**определены** режимы восстановления поверхности теплообменного аппарата от загрязнений путем смывания их водой в процессе конденсации парогазовой смеси, содержащей твердые частицы;

**создана** методика и зарегистрирована программа для ЭВМ, предназначенная для моделирования процесса образования отложений на поверхности цилиндрических и прямых рёбер в теплообменных аппаратах при конденсации парогазовой смеси, содержащей твёрдые частицы;

**представлены** результаты численного анализа процессов теплообмена для труб с различным типом оребрения. Установлено, что трубы со спирально-навивным оребрением обеспечивают увеличение интенсивности теплоотдачи до 40% по сравнению с цилиндрическим оребрением.

**Оценка достоверности результатов исследований выявила:**

**для экспериментальных работ** задействована калиброванная и поверенная аппаратура, применялось аттестованное оборудование, прошедшее процедуру сертификации;

**теория** не противоречит информации, известной из литературных источников, соответствует теоретическим и экспериментальным работам других авторов, которые были опубликованы ранее, и основана на применении



законов тепломассообмена и термодинамики, а также положений моделей двухфазных сред;

**идея базируется** на применении законов сохранения энергии и массы. Исследование и оценка этих законов осуществляются с использованием аналитических методов теории дифференциальных уравнений, а также численных методов решения краевых задач.

**использованы** методы экспериментального и численного анализа, а также современные подходы к сбору и анализу полученных данных;

**установлено** согласование полученных результатов при численном моделировании с экспериментальными данными исследуемого модуля с оребренной поверхностью на промышленном объекте.

**Личный вклад соискателя** состоит в непосредственном участии во всех этапах получения результатов, представленных в диссертации, в разработке математической модели процесса образования отложений на поверхности цилиндрических и прямых ребер в теплообменных аппаратах при конденсации парогазовой смеси, содержащей твердые частицы, и в разработке инженерной методики, позволяющая рассчитать процесс восстановления оребренной поверхности теплообмена после загрязнений путем смывания отложений водой, в самостоятельном проведении численных исследований с применением программного комплекса для расчета процессов гидрогазодинамики и тепломассообмена, обработке результатов эксперимента с целью получения расчетных эмпирических зависимостей, разработке программы для ЭВМ для расчета толщины слоя отложений на наружной поверхности ребра и тепловых потоков, в разработке научно-технических решений, направленных на повышение эффективности тепломассообмена, подготовке докладов, выступлений на конференциях и написании статей.

**Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования.** Разработанные в рамках диссертационного исследования математические модели, алгоритмы расчета и технические решения целесообразно использовать: 1) в проектных организациях, занимающихся проектированием теплообменных аппаратов; 2) в исследовательских



организациях при проведении изыскательских работ в области теплообмена, а так же на промышленных предприятиях нефтегазохимического комплекса, целлюлозно-бумажной промышленности и энергетики (АО «Татэнерго», АО «Нижекамскнефтехим», ООО «Палп Инвест», ГАЗПРОМ, и др.); 3) в вузах при подготовке специалистов по теплоэнергетическим и технологическим направлениям.

В ходе защиты диссертации существенных критических замечаний по научной новизне и значимости работы для науки и практики высказано не было. Соискатель Гузель Рамилевна аргументировано ответила на замечания и задаваемые ей в ходе заседания вопросы. С рядом высказанных замечаний соискатель согласилась.

**Заключение.** Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация Бадретдиновой Гузель Рамилевны «Теплообмен при конденсации парогазовых смесей с твердыми частицами на оребренных поверхностях в теплообменных аппаратах» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, где получены численные и экспериментальные данные интенсивности теплоотдачи для оребренной трубы при конденсации парогазовой смеси с дополнением модели турбулентности моделями «Mixture» и моделью Ли, применяющиеся при моделировании процессов испарения и конденсации, а также разработаны математическая модель, позволяющая рассчитать толщину слоя отложений во времени и определить его влияние на теплообмен при конденсации парогазовой смеси, содержащей твердые частицы, в теплообменных аппаратах, и методика расчета времени работы теплообменного аппарата между процессами восстановления загрязненной поверхности путем смывания отложений водой. Работа соответствует критериям, установленным п. 9 за научно-квалификационную работу, в которой содержится решения научной задачи, имеющей значение для развития энергетической отрасли страны, п. 10 за новые научные результаты, полученные соискателем самостоятельно в области теоретической и прикладной теплотехники, пп. 11, 13 за публикацию основных научных результатов в 3 изданиях из перечня ВАК Министерства науки и



высшего образования Российской Федерации, п. 14 за соблюдение правил цитирования и указание источников информации других авторов в научной работе «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 20 марта 2025 года диссертационный совет принял решение за новые научно-обоснованные технические и технологические решения по совершенствованию методик, направленные на повышение тепловой эффективности теплообменных аппаратов при конденсации парогазовых сред с твердыми частицами, имеющие существенное значение для развития теоретической и прикладной теплотехники, присудить Бадретдиновой Гузель Рамилевне учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 10 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 16 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 16, против «нет», недействительных бюллетеней «нет».

Заместитель председателя  
диссертационного совета

*Л.А. Николаева*

Николаева Лариса Андреевна

Ученый секретарь  
диссертационного совета

*С.Д. Борисова*

Борисова Светлана Дмитриевна

«20» марта 2025 г.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
*Михаилова А.А. Борисова С.Д.*  
подпись уполномоченного  
Специалист ОК *С.Д. Борисова*