

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 «22» мая 2025 г., № 6

О присуждении Мустафину Равилю Мансуровичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение энергетической эффективности термохимической рекуперации теплоты дымовых газов за счет глубокой утилизации» по специальности 2.4.6 Теоретическая и прикладная теплотехника принята к защите «20» марта 2025 г. (протокол заседания № 4) 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 Мустафин Равиль Мансурович родился 14 мая 1997 года.

В 2021г. окончил ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» по направлению подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, профиль «Теплоэнергетика и теплотехника» (диплом магистра с отличием 106305 0074687 рег. номер № 175312 от 28.06.2021г).

С 1 сентября 2021 г. по настоящее время Мустафин Равиль Мансурович обучается в очной аспирантуре в ФГБОУ ВО «Самарский государственный

технический университет» по направлению подготовки 14.06.01 «Ядерная, тепловая и возобновляемая энергетика и сопутствующие технологии». С 26.06.2024 г. зачислен в качестве лица, прикрепленного для сдачи кандидатских экзаменов без освоения программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника (технические науки).

Работает на кафедре «Промышленная теплоэнергетика» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» в должности старшего преподавателя.

Диссертация выполнена на кафедре «Промышленная теплоэнергетика» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Пашенко Дмитрий Иванович, ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика».

Официальные оппоненты:

1. Попов Станислав Константинович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Инновационные технологии наукоемких отраслей» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва;

2. Меренцов Николай Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Процессы и аппараты химических и пищевых производств» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград.

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов, в своём положительном отзыве, утвержденном проректором по науке и инновациям, д.х.н., профессором Остроумовым Игорем Геннадьевичем,

подписанным профессором кафедры «Промышленная теплотехника», д.т.н., доцентом Кулешовым Олегом Юрьевичем, доцентом кафедры «Промышленная теплотехника», к.т.н., доцентом Мракиным Антоном Николаевичем и заведующим кафедрой «Промышленная теплотехника», к.т.н., доцентом Озеровым Никитой Алексеевичем, указала, что работа содержит разработку и исследование технологического решения задачи, связанной с повышением энергетической эффективности систем термохимической рекуперации теплоты. В заключении отзыва указано, что диссертационная работа соответствует требованиям пунктов 9-11, 13, 14 установленными Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 20 сентября 2020 г. № 842 (в актуальной редакции) на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Мустафин Равиль Мансурович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6 Теоретическая и прикладная теплотехника.

Соискатель имеет 15 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 15 работ общим объемом 11,32 печатных листов и авторским вкладом 7,52 печатных листов; из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, опубликовано 8 работ, объёмом 8,66 печатных листов и авторским вкладом 4,71 печатных листа; в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России по специальности диссертации, опубликовано 2 работы, объёмом 2,19 печатных листа и авторским вкладом 1,05 печатных листа; в других изданиях, в материалах и тезисах российских и международных научных конференций опубликовано 5 работ общим объёмом 0,47 печатных листа и авторским вкладом 0,32 печатных листа; 4 свидетельства 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. Брагин, Д.М., Мустафин Р.М., Попов, А.И., Зинина, С.А., Еремин, А.В. Исследование аэродинамических процессов в пористых материалах на основе трижды периодических минимальных поверхностей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2024. – Т. 26. – №. 5. – С. 66-78.
2. Пашченко Д.И., Мустафин Р.М. Использование термохимических принципов преобразования энергии для аккумулирования теплоты отходящих дымовых газов теплотехнологических установок. // Промышленная энергетика. – 2017. – № 12. – С. 26-31.
3. Mustafin R.M., Karpilov I.D. Effect of the Catalyst Shapes and the Packed Bed Structure on the Efficiency of Steam Methane Reforming. // Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences. – 2023. – Vol. 104, № 1. – P. 124-140.
4. Karpilov I.D., Mustafin R.M. Steam Methane Reforming in a Swirling Flow: Effect of Reformer Design Parameters // Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences. – 2023. – Vol. 104, № 1. – P. 93-105.
5. Pashchenko D.I., Mustafin R.M., Karpilov I.D. Thermochemical recuperation by steam methane reforming as an efficient alternative to steam injection in the gas turbines // Energy. – 2022. – Vol. 258. – P. 124913.
6. Pashchenko D.I., Mustafin R.M., Karpilov I.D. Efficiency of chemically recuperated gas turbine fired with methane: Effect of operating parameters // Appl. Therm. Eng. – 2022. – Vol. 212. – P. 118578.
7. Pashchenko D.I., Mustafin R.M., Mustafina A.D. Steam methane reforming in a microchannel reformer: Experiment, CFD-modelling and numerical study // Energy. – 2021. – Vol. 237. – P. 121624.
8. Pashchenko D.I., Karpilov I.D., Mustafin R.M. Numerical calculation with experimental validation of pressure drop in a fixed-bed reactor filled with the porous elements // AIChE J. – 2020. – Vol. 66, № 5. – P. e16937.
9. Pashchenko D.I., Mustafin R.M. Ammonia decomposition in the thermochemical waste-heat recuperation systems: A view from low and high heating

value // Energy Convers. Manage. – 2022. – Vol. 251. – P. 114959.

10. Pashchenko D.I., Mustafin R.M., Karpilov I.D. Ammonia-fired chemically recuperated gas turbine: Thermodynamic analysis of cycle and recuperation system // Energy. – 2022. – Vol. 252. – P. 124081.

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

Отзывы прислали:

1. Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Тепловые электрические станции» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» Вальцева Александра Игоревна.

Замечания:

1) в работе рассматривается только один процесс повышения энергетической эффективности, а именно термохимическая рекуперация теплоты дымовых газов. Возможно сравнение этого процесса с другими, наиболее распространенными способами повышения энергетической эффективности, позволило более наглядно оценить положительный эффект от разработанной в диссертации технологии;

2) в автореферате не указаны возможные экологические риски, связанные с внедрением процесса ТХР.

2. Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электроснабжение и теплоэнергетика имени академика И.А. Будзко», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», заслуженный деятель науки и техники России Рудобашта Станислав Павлович. Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электроснабжение и теплоэнергетика имени академика И.А. Будзко», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный

университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Гарькавый Константин Алексеевич.

Замечания:

1) в качестве замечания по автореферату укажем, что из него не ясно учитывалось ли термическое и диффузионное сопротивления пограничных слоев при расчете профилей температур и концентраций в реакторе (рис. 5) и, если учитывалось, то на основе каких уравнений.

3. Кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергетика», Пензенский казачий институт технологий (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)», Долотин Алексей Иванович.

Замечания:

1) в тексте автореферата сказано, что для термодинамического анализа процесса паровой конверсии метана использован метод минимизации свободной энергии Гиббса, однако не даны пояснения, почему термодинамический анализ проводился именно этим методом, а не использовалась, например, многокомпонентная модель или не применялся закон нормального распределения;

2) основываясь на тексте автореферата, можно сделать вывод, что достоверность результатов, полученных автором в процессе моделирования, подтверждается сходимостью с результатами аналогичных расчетов, выполненных другими авторами, однако степень сходимости и ее оценка не указана.

4. Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Теплотехника и энергетическое машиностроение», федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», Харьков Виталий Викторович.

Замечания:

1) в работе основное внимание уделено численному моделированию (CFD) и термодинамическому анализу, однако отсутствуют данные о полноценной экспериментальной проверке предложенной схемы термохимической рекуперации. Хотя автор ссылается на внедрение результатов на предприятии ООО «ТСК Волгаэнергопром», в автореферате не приведены конкретные экспериментальные данные, подтверждающие точность моделирования или эффективность технологии в реальных условиях;

2) в тексте автореферата нет детального описания CFD модели, параметров сетки, не указаны конкретные граничные условия для скорости, температуры или давления на входе/выходе реакционного элемента.

5. Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Техносферная и экологическая безопасность» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Вологодский государственный университет», Павлов Михаил Васильевич

Замечания:

1) отсутствует анализ возможных эксплуатационных рисков, которые связаны с коррозионной активностью конденсата, получаемого при глубокой утилизации дымовых газов, что может повлиять на надежность оборудования;

2) согласно ГОСТ Р 7.0.11-2011, в заключении диссертационной работы, помимо итогов выполненного исследования и рекомендаций, также должны быть приведены перспективы дальнейшей разработки темы.

6. Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Техносферная и экологическая безопасность» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет», Кулагина Людмила Владимировна.

Замечания:

1) при оценке технико-экономической эффективности глубокой утилизации теплоты дымовых газов необходимо учитывать затраты на химводоподготовку конденсата при дальнейшем его использовании;

2) в настоящее время существуют различные технологии рекуперация теплоты уходящих дымовых газов, апробированные в Российской Федерации и нашедшие массовое применение за рубежом. На мой взгляд выбор термохимической рекуперации в автореферате недостаточно обоснован;

3) из автореферата неясно, проводилась ли оценка экологического ущерба окружающей среде при потенциальном внедрении предлагаемой технологии в производство;

4) пункты научной новизны требуют конкретизации, иначе – это лишь перечисление выполненных работ, не носящих признаков научной новизны о которой приходится только догадываться;

5) положения, выносимые на защиту, сформулированы неудачно и не отвечают по сути своему назначению.

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 Попов Станислав Константинович – доктор технических наук по специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика, является крупным специалистом в области термохимической рекуперации теплоты дымовых газов, работы высокотемпературных теплотехнических установок, повышения энергетической эффективности крупных производств, автор 192 научных и научно-методических работ.

Официальный оппонент Меренцов Николай Анатольевич – кандидат технических наук по специальности 05.23.04 – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов, является специалистом в области экспериментальных и численных исследований гидравлических и тепловых характеристик разного рода промышленных устройств, автор 280 научных работ.

Выбор ведущей организации – ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» г. Саратов

обусловлен тем, что организация широко известна своими достижениями в области исследований тепломассообмена и гидрогазодинамики, а также в области фундаментальных знаний теплотехники. 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 численные модели схемы термохимической рекуперации теплоты дымовых газов с глубокой утилизацией и процессов, протекающих в реакторе паровой конверсии метана;

предложена схема термохимической рекуперации теплоты дымовых газов в составе высокотемпературной теплотехнической установки;

доказано, что разработанное техническое решение позволяет повысить энергетическую эффективность систем термохимической рекуперации теплоты дымовых газов;

введен программный модуль, который позволяет расширить возможности стандартного решения в программном комплексе и изучать более детально процессы, протекающие внутри термохимического реактора.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

изложены результаты численных исследований процессов, протекающих в реакторе паровой конверсии метана, которые позволяют оценить необходимое количество труб в реакторе и массу катализатора;

изучено влияние рабочих параметров таких как давление в рекуператоре, температура дымовых газов, соотношение пара к метану на процесс термохимической рекуперации теплоты дымовых газов;

доказано, что увеличение температуры дымовых газов, а также увеличение соотношения пара к метану – β приводит к приближению действительного процесса к равновесному. Однако увеличение β оказывает влияние на приближение действительного процесса к равновесному при

высоких температурах дымовых газов, при низких температурах увеличение β не оказывает существенного влияния. Так при $\beta = 4$ и температуре дымовых газов 1500°C действительный процесс почти полностью достигает равновесия;

проведена модернизация наиболее распространенной схемы термохимической рекуперации теплоты дымовых газов за счет внедрения системы конденсации водяных паров из дымовых газов.

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

разработаны модели термохимической рекуперации теплоты дымовых газов и процессов, протекающих в реакторе паровой конверсии метана, позволяющие проводить комплексное исследование систем, использующих термохимические принципы повышения энергетической эффективности высокотемпературных теплотехнических установок;

определены параметры, при которых наблюдается наибольшая эффективность работы системы термохимической рекуперации теплоты дымовых газов;

создана и зарегистрирована программа для ЭВМ, предназначенная для моделирования процессов, протекающих внутри реактора паровой конверсии метана;

представлена оценка энергетической эффективности и экономической целесообразности использования предлагаемого решения на примере схемы термохимической рекуперации теплоты отходящих дымовых газов нагревательной печи.

Оценка достоверности результатов исследований выявила:

результаты экспериментальных исследований для подтверждения достоверности полученных значений численных расчетов были взяты данные из работ высокорейтинговых мировых журналов и классической литературы;

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;

идея базируется на широко применяемых технологиях, совокупность которых дает существенный прирост к энергетической эффективности промышленных установок.

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

установлено согласование полученных результатов при численном моделировании с экспериментальными данными других авторов, взятых из высокорейтинговых международных журналов.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии во всех этапах получения результатов, представленных в диссертации, в разработке расчетной модели для поведения термодинамического анализа схемы термохимической рекуперации теплоты дымовых газов, численной модели процессов протекающих внутри реактора паровой конверсии метана, в самостоятельном проведении численных исследований с применением программных комплексов для расчета процессов гидрогазодинамики и тепломассообмена, разработке программ для ЭВМ для расчета химической кинетики паровой конверсии метана, 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 организациях, занимающихся проектированием, например: ОАО «ВНИИМТ», ООО НИПИ НГ «Петон», АО Ипромашпром, ЗАО Зарубежэнергопроект; 2) в научно-исследовательских организациях при проведении изыскательских работ в области тепломассообмена и химических превращений внутри реакторов, например: Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии (ВНИИХТ), Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я.

Карпова (НИФХИ); 3) в вузах при подготовке специалистов по теплоэнергетическим и технологическим направлениям (13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника; 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника).

В ходе защиты диссертации существенных критических замечаний по научной новизне и значимости работы для науки и практики высказано не было. Соискатель Мустафин Равиль Мансурович 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 Мустафина Равиля Мансуровича «Повышение энергетической эффективности термохимической рекуперации теплоты дымовых газов за счет глубокой утилизации» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, где получены численные данные позволяющие оценить энергетическую эффективность систем термохимической рекуперации теплоты дымовых газов, а также выбирать массогабаритные свойства реакторов паровой конверсии метана для технологического процесса. 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 2 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 22 мая 2025 года диссертационный совет принял решение за новые научно-обоснованные технические и технологические решения, направленные на совершенствование теории и практики по утилизации

низкопотенциальных источников энергии и повышение энергетической эффективности теплотехнических установок, имеющие существенное значение для развития теоретической и прикладной теплотехники, присудить Мустафину Равилю Мансуровичу 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».

Председатель

диссертационного совета



Дмитриев Андрей Владимирович

Ученый секретарь

диссертационного совета



Борисова Светлана Дмитриевна

«22» мая 2025 г.



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
подпись: *А.В. Борисова* С.Д.
Специалист О.А. *Хадифьянова* О.А.