

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.418.02,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело №\_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 03.04.2024 № 2

О присуждении Рыдалиной Наталье Владимировне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Теплоотдача и гидродинамика в теплообменных аппаратах с пористыми вставками» по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 24 января 2024 года (протокол заседания № 1) диссертационным советом 24.2.418.02, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский государственный университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 625003, г. Тюмень, ул. Володарского, 6. Приказ Минобрнауки России от 02.11.2012 № 714/нк.

Соискатель Рыдалина Наталья Владимировна, 13.08.1977 года рождения, в 2017 году с отличием окончила магистратуру по направлению подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет». В период подготовки диссертации с 01.09.2017 по 31.08.2022 соискатель Рыдалина Наталья Владимировна обучалась в заочной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский индустриальный университет» по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника (профиль: Промышленная теплоэнергетика).

Справка № 51 от 29.09.2023 о сдаче кандидатских экзаменов выдана федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Тюменский государственный университет» после прикрепления в качестве соискателя ученой степени кандидата наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника с 01.09.2023 по 29.09.2024 (приказ о прикреплении для сдачи кандидатских экзаменов от 31.08.2023 №196-25).

Диссертация выполнена на кафедре промышленной теплоэнергетики федерального бюджетного государственного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский индустриальный университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, в составе которой в настоящее время соискатель работает в должности старшего преподавателя.

Научный руководитель – Степанов Олег Андреевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры промышленной теплоэнергетики ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет».

Официальные оппоненты: 1) **Житомирский Борис Леонидович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры термодинамики и тепловых двигателей, ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина»;

2) **Арзамасцев Алексей Геннадьевич** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики, ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет».

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», в своем положительном отзыве, подписанным доктором технических наук, профессором, профессором кафедры теплотехники и энергетического машиностроения **Поповым Игорем Александровичем**, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой теплотехники и энергетического машиностроения **Гортышевым Юрием Федоровичем** и утвержденным проректором по научной и инновационной

деятельности, доцентом, доктором технических наук Бабушкиным Виталием Михайловичем, указала, что диссертационная работа Рыдалиной Натальи Владимировны «Теплоотдача и гидродинамика в теплообменных аппаратах с пористыми вставками» по актуальности, научной новизне, основным положениям, научной, практической значимости и достоверности полученных результатов соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Рыдалина Наталья Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Соискатель имеет 20 работ по теме диссертации, из которых 2 публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, 7 публикаций в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования. Общий объем научных изданий 11,3 п.л., из них вклад автора – 4,2 п.л. Недостоверные сведения об опубликованных Н.В Рыдалиной работах в диссертации отсутствуют.

Наиболее значимые публикации:

1. Рыдалина Н.В., Степанов О.А., Шабаров А.Б., Александров М.А. Методика расчета теплообменного аппарата с пористыми вставками на основе полученного критериального уравнения // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2023. Т.9. № 3(35). С. 28-45. DOI: 10.21684/2411-7978-2023-9-3-28-45 (BAK).
2. Аксенов Б.Г., Степанов О.А., Рыдалина Н.В. Экспериментальное исследование и математическая модель теплообменного аппарата со вставками из пористого металла // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2020. Т.6. № 2 (22). С. 22-40. DOI: 10.21684/2411-7978-2020-6-2-22-40 (BAK).
3. Rydalina N., Antonova E., Akhmetova I., Ilyashenko S., Afanaseva O., Bianco V., Fedyukhin F. Analysis of the Efficiency of Using Heat Exchangers with Porous Inserts in Heat and Gas Supply Systems // Energies. 2020.V.13. Art. № 5854.

DOI:10.3390/en13225854 (Scopus, SCIE, Ei Compendex, RePEc, Inspec, CAPlus / SciFinder).

4. Stepanov O., Rydalina N., Antonova E. Experimental Study of Porous Metals in Heat Exchangers // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2020. V.459. Art. №062081. DOI: 0.1088/1755-1315/459/6/062081 (Scopus).
5. Aksenov B., Rydalina N., Antonova E. Porous Materials in Heat Exchangers Used in Heating // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2020. V.459. Art. №062079. DOI: 0.1088/1755-1315/459/6/062079(Scopus).
6. Rydalina N., Stepanov O., Antonova E. The use of porous metals in the design of heat exchangers to increase the intensity of heat exchange // E3S Web of Conferences. 2020. V.178. Art. №01026. DOI: 10.1051/e3sconf/202017801026 (WoS, Scopus).
7. Stepanov O., Rydalina N., Antonova E. The use of porous metals in heat exchangers // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. V.890. Art. №012150. DOI: 0.1088/1757-899X/890/1/012150 (WoS, Scopus).

На автореферат поступили положительные отзывы от:

- 1) Доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Автоматизация технологических процессов и производств» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» **Дмитриева А.В.** с замечаниями:
  1. В автореферате не указано возможно ли использовать в рассматриваемых конструкциях теплообменников теплоносители отличные от рассматриваемых.
  2. В автореферате приводится полученное критериальное уравнение для коэффициента теплоотдачи, но нет обоснования выбора модели зависимости.
- 2) Кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры «Теплоэнергетика» ФГАОУ ВО «Омского государственного технического университета» **Батракова П.А.** с замечаниями:
  1. По автореферату непонятно почему исследования ограничилось вставками с пористостью  $\Pi=0,62$ , ведь автор утверждает, что повышение пористости приводит к улучшению результата? Почему пористость не  $\Pi=0,7$  или еще выше?

2. В разделе «1.1 Анализ пористых структур применяемых в промышленности» говорится о методах порошковой металлургии, позволяющие создавать пористые конструкции из меди, бронзы, железа, коррозийной стали, никеля, титана и алюминия, а далее в работе не говорится причина выбора именно алюминия, с чем связан выбор именно этого материала?

3) Кандидата технических наук, доцента Высшей школы атомной и тепловой энергетики Института энергетики ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» **Владимирова Я.А.** с замечаниями:

1. Из текста автореферата не ясно, почему для исследования были выбраны образцы с указанной пористостью (0,47, 0,49, 0,62).

2. Немаловажным было бы также упомянуть в автореферате, проводились ли соискателем сравнения полученных зависимостей вязкостного и инерционного коэффициентов гидравлического сопротивления, с зависимостями, полученными другими авторами.

4) Кандидата технических наук, научного сотрудника лаборатории ресурсоэффективных технологий термической переработки биомассы Института экологической и сельскохозяйственной биологии Х-ВИО ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет» **Пономарева К.О.** с замечаниями:

1. В автореферате имеются орфографические, пунктуационные и стилистические ошибки (например, на стр. 6 в предпоследнем абзаце написано «десять статей в других изданиях [10-20] и приводится ссылка на 11 статей; пропущены точки в конце предложений на стр. 9(9 строка после «рис.3» и 10 строка после изолирован); стр. 9 – «Пункт 2.3 посвящен оценке тепловой мощности тепломассообменных аппаратов при стационарном режиме работы и обработка....» (слово приводится в именительном, а не в дательном падеже – «обработке»); стр. 13 четвертая строка – «...для пористой вставке» (словосочетание не приведено к родительному падежу – «для пористой вставки»).

2. По тексту автореферата диссертации не совсем ясно, что в итоге являлось объектом исследования (стр.7 последний абзац) – пористые вставки или все-таки теплообменник с пористыми вставками? Пористые вставки часть теплообменного аппарата, по которому двигался фреон, а пористость – фактор варьирования в экспериментах, который выбирается от 0,47 до 0,62 (также рассматривается вариант без пористых вставок).
  3. Из текста автореферата не ясно, как определить средние диаметры пор исследуемых образцов (стр.8 седьмая строчка).
  4. Чем обусловлены меньшие гидравлические потери в теплообменном аппарате с пористостью  $\Pi=0,62$ , по сравнению с теплообменниками с меньшей пористостью (стр. 14 второй абзац)?
- 5) Кандидата технических наук, руководителя Обособленного подразделения АО «Интертехэлектро» г. Краснотурьинск **Погорельцева Е.Г.** без замечаний.
- 6) Доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой-руководителя научно-образовательного центра И.Н. Бутакова (на правах кафедры) Инженерной школы энергетики **Заворина А.С.** и кандидата технических наук, доцента научно-образовательного центра И.Н. Бутакова (на правах кафедры) Инженерной школы энергетики **Табакаева Р.Б.** ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», с замечаниями:
1. В тексте присутствует некритичное количество несогласованных словосочетаний, пропущены знаки препинания.
  2. Не указано, с чем связан выбор значений пористости исследуемых вставок, а также измерялся ли каким-либо способом характер пор (количество, размеры и др.). Эти данные оказывают важное воздействие на характеристики течения потока и, соответственно, на процесс теплопередачи.
  3. На страницах 13 и 14 указано, что с увеличением пористости наблюдается рост уровня теплопередачи. Можно было бы предположить, что в таком случае с увеличением пористости должен наблюдаться и рост гидравлического сопротивления теплообменника, однако этого не

происходит. Максимальное значение гидравлического сопротивления характерно для минимального из исследованных значений пористости. Автору следовало бы привести объяснения полученных результатов.

4. Публикации в сборниках конференций, таких как IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, E3S Web of Conferences, MATEC Web of Conferences, следует относить к категории «доклады конференций», а не к категории «статьи».

7) Кандидата технических наук, руководителя департамента управления проектами ЗАО «Омский завод инновационных технологий» Артамонова П.А. с замечаниями:

1. В тексте авторефера следовало бы описать механизм передачи теплоты от горячего теплоносителя к холодному, протекающему по пористой вставке;
2. В автореферате не указывается оказывает ли влияние на величину теплообмена свойства материала, из которого изготовлена пористая вставка.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются специалистами высокого уровня в области теплофизики и теоретических основ теплотехники, а ведущая организация известна своими достижениями в области теплофизики, теоретических основ теплотехники и исследований пористых структур, применяемых для интенсификации теплообмена, что позволяет им оценить научную и практическую значимость диссертационной работы.

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

**разработана физико-математическая модель расчета параметров теплообменного аппарата с пористыми вставками хаотичной структуры на основе использования кластерной модели, выведенного критериального уравнения теплоотдачи и полученных коэффициентов гидравлического сопротивления;**

**предложены:**

- критериальное уравнение теплоотдачи и зависимости для коэффициентов гидравлического сопротивления при течении фреона по пористой вставке из алюминия хаотичной структуры, на основе обобщения экспериментальных данных,

учитывающие свойства теплоносителя, режимные параметры потока и геометрические параметры вставок;

- методика теплогидравлического расчета, на основе полученного критериального уравнения теплоотдачи, зависимостей для вязкостного и инерционного коэффициентов гидравлического сопротивления и параметров кластерной модели;

**доказано** влияние пористости, свойств теплоносителя и геометрических размеров вставок на теплоотдачу и коэффициенты гидравлического сопротивления;

**введено** использование понятия кластерной модели при проведении теплового расчета теплообменного аппарата.

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

**доказана** эффективность использования пористых вставок из алюминия в конструкции кожухотрубных теплообменных аппаратов;

**использованы** при проведении теоретического исследования основные положения теории тепломассообмена;

**изложены** основные этапы проведения теплогидравлического расчета теплообменного аппарата с пористыми вставками хаотичной структуры;

**раскрыты** механизмы влияния пористости металлов хаотичной структуры, режимных параметров потока, свойств теплоносителя и индивидуальных геометрических параметров вставок на величину теплоотдачи от поверхности поровых каналов к фреону;

**изучены** особенности теплообмена и гидродинамика в пористых вставках хаотичной структуры, расположенных в трактах теплообменных аппаратов;

**проведена модернизация** методики проведения теплогидравлического расчета теплообменного аппарата при установке в трактах пористых вставок хаотичной структуры путем использования кластерной модели, выведенного критериального уравнения теплоотдачи и полученных коэффициентов гидравлического сопротивления.

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

**разработана и внедрена** методика проведения теплового и гидравлического расчета теплообменного аппарата с пористыми вставками из алюминия хаотичной структуры с учетом свойств теплоносителя, режимных параметров потока, пористости и индивидуальных геометрических параметров вставок;

**определены** влияния на теплоотдачу и коэффициенты гидравлического сопротивления пористости, свойств теплоносителя и геометрических размеров вставок;

**создана** физико-математическая модель расчета параметров теплообменных аппаратов с пористыми вставками хаотичной структуры, позволяющая разрабатывать различные методики теплогидравлического расчета теплообменных аппаратов;

**представлены** методические рекомендации для проведения теплового и гидравлического расчета теплообменного аппарата с пористыми вставками из алюминия хаотичной структуры с использованием кластерной модели.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**идея** базируется на современных экспериментальных и теоретических исследованиях, проводимых российскими и зарубежными исследователями;

**теория** построена на основных теоретических положениях тепломассообмена;

**использованы** высокоточные контрольно-измерительные приборы и поверенные средства измерений при проведении экспериментальных исследований;

**верифицированы** результаты исследований согласованностью аналитических расчетных данных с результатами проведенных экспериментов.

**Личный вклад автора** состоит в проведении лабораторных исследований и обработке полученных результатов при его непосредственном участии; разработке физико-математической модели и методики расчета теплообменных аппаратов с пористыми вставками хаотичной структуры; проведение технико-экономического обоснования возможности применения пористых металлов в теплообменных аппаратах; участии в подготовке научных публикаций и представлении устных и стеновых докладов на международных и всероссийских конференциях по тематике диссертационных исследований.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

- 1) Какой режим течения реализовывался при течении фреона в пористой вставке? Как автор контролировал фазовое состояние (отсутствие вскипания)? В соответствие с какими критериями был выбран для исследований, как теплоносителя, фреон данной марки?
- 2) Из диссертации неясно, почему при проведении экспериментальных исследований, являющихся основой диссертационной работы, не использовалась теория планирования эксперимента. Так, например, не обосновано минимально необходимое количество параллельных опытов в одной точке (принято  $n=10$ ), обеспечивающее их воспроизводимость.
- 3) В работе не объяснено, почему пористость исследуемых образцов была ограничена диапазоном 0,47–0,62.

Соискатель Рыдалина Н.В. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию:

- 1) При рассматриваемых скоростях фреона режим течения ламинарный и переходный. Фреон поступает в теплообменник после дросселирования в газообразном состоянии. Фреон марки R404a выбран для проведения лабораторных испытаний ввиду того, что он является нетоксичным, пожаробезопасным, среднетемпературным (-5<sup>0</sup>C до 10<sup>0</sup>C) хладагентом.
- 2) Теория планирования экспериментов использовалась, оценивалось среднеквадратическое отклонение от средней величины измеряемых показателей. Число проводимых экспериментов  $n=10$  выбрано с запасом, для большей точности.
- 3) Вставки изготовлены литьевым способом путем сплава алюминия с водорастворимыми гранулами соли. Размер гранул соли обеспечивает необходимую пористость. Пористость 0,47 соответствует наиболее мелкому размеру гранул. Пористость 0,62 соответствует крупным гранулам, при использовании которых получаемые образцы вставок были прочными. При увеличении пористости образцы вставок рассыпались.

На заседании 03.04.2024 диссертационный совет за решение научной задачи, имеющей теоретическое и практическое значение для проведения теплового и

гидравлического расчета теплообменных аппаратов с пористыми вставками хаотичной структуры, принял решение присудить Рыдалиной Н.В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении электронного тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 6 докторов наук по специальности 1.3.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника (технические науки), участвовавших в заседании из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – нет.

Председатель  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Шабаров Александр Борисович

Удовиченко Сергей Юрьевич

03.04.2024