

Вх. №3/24  
от 01.03.24

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

**Рыдалиной Натальи Владимировны**

«Теплоотдача и гидродинамика в теплообменных аппаратах с пористыми вставками», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

В настоящее время существует объективная необходимость создания компактных и эффективных теплообменных аппаратов для оснащения различных технических систем и конструкций, что способствует поиску новых способов повышения эффективности теплообмена. Одним из современных и эффективных способов повышения теплообмена является использование в конструкциях теплообменных аппаратов пористых металлов, которые хорошо зарекомендовали себя при использовании в теплообменных системах газотурбинных и ракетных двигателей, системах лазерных зеркал, ядерных реакторах и других подобных системах. Использование пористых структур позволяет значительно увеличить площади теплообмена и коэффициент теплоотдачи, однако до настоящего времени не нашло широкого распространения в связи со сложными и малоизученными процессами теплообмена в пористых металлах, а также большим разнообразием видов пористых структур.

Выполненный в диссертационной работе анализ подтверждает, что применение пористых металлов в конструкциях теплообменных аппаратов является одним из перспективных способов интенсификации теплообмена, а исследование процессов теплообмена и гидродинамики в таких металлах, разработка соответствующих физико-математических и методических подходов к описанию этих процессов позволит создать конструкции высокоэффективных теплообменников нового поколения.

Представленная Рыдалиной Н.В. диссертационная работа посвящена исследованию и обобщению параметров теплообмена при течении фреона в поровых каналах и разработке на их основе методики теплогидравлического расчета теплообменных аппаратов с пористыми вставками.

В диссертации были поставлены и решены задачи, связанные с: проведением анализа существующих пористых структур, а также с изучением возможности и целесообразности их использования в теплообменных аппаратах. Проведением анализа ранее выполненных

теплогидродинамических исследований пористых металлов. Проведением экспериментальных исследований процессов теплообмена, коэффициентов теплоотдачи и гидравлического сопротивления в пористых вставках из алюминия хаотичной структуры при течении по ним фреона с обобщением полученных результатов и разработкой рекомендаций по расчету коэффициента теплоотдачи, вязкостного и инерционного коэффициентов гидравлического сопротивления. Разработкой физико-математической модели и методики теплового расчета теплообменного аппарата с пористыми вставками из алюминия хаотичной структуры. Технико-экономической оценкой возможности применения пористых вставок из алюминия хаотичной структуры в конденсаторах анализом результатов.

Исследования проводились на базе уникального лабораторного стенда, оснащенного современными, высокоточными контрольно-измерительными приборами и поверенными средствами измерений, одним из разработчиков которого является Рыдалина Н.В.

**Объем и структура диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Имеет общий объем 120 стр., включающих 38 рисунков, 16 таблиц. Список литературы включает 126 источников.

**Во введении** описана актуальность темы исследования, поставлены цели и задачи, сформулированы положения, выносимые на защиту, обоснованы научная новизна, практическая и теоретическая значимость исследования, приведены данные об апробации результатов и публикациях по теме исследования.

**В первой главе** проведен анализ состояния вопроса, включающий анализ пористых структур, применяемых в настоящее время в промышленности, и их особенностей. Выполнен анализ существующих конструктивных решений по использованию пористых металлов в теплообменных аппаратах. Рассмотрены описывающие внутривязный теплообмен критериальные уравнения и безразмерные параметры, полученные в ходе ранее выполненных исследований, а также математические модели пористых теплообменников и различные подходы к изучению теплообмена в пористых структурах. Поставлены задачи исследования.

**Во второй главе** описаны экспериментальные исследования теплообмена и гидродинамики при течении фреона в пористых вставках из алюминия хаотичной структуры. Описана экспериментальная установка и методика эксперимента. В ходе экспериментальных исследований

оценивалась погрешность измерений, основанная на математическом подходе к оценке систематических отклонений с использованием коэффициента Стьюдента с учетом погрешностей применяемых приборов.

В результате эксперимента по полученным данным были построены графики зависимости тепловой мощности для различных типов теплообменников при двух режимах работы экспериментальной установки, из которых было выявлено, что наибольшее количество теплоты соответствует вставкам с наибольшей пористостью. При этом обычный кожухотрубный теплообменник (без пористых вставок) характеризуется наименьшим количеством теплоты. Экспериментальным путем было установлено, что уровень повышения тепловой нагрузки в теплообменниках с пористыми вставками в 1,5–2 раза выше по сравнению с гладкотрубным теплообменником. Достоверность полученных выводов была подтверждена при помощи среднего коэффициента аппроксимации (менее 10%). Значимость построенных уравнений подтверждена с применением критерия Фишера. Проведенная оценка статистической значимости уравнений регрессии и коэффициентов регрессии позволила сделать вывод, что все составленные уравнения регрессии и коэффициенты регрессии являются статистически значимыми.

Выполнен расчет основных параметров теплообменных процессов для различных типов теплообменных аппаратов с использованием кластерной модели течения по пористой структуре. Полученные в результате экспериментальной работы значения коэффициента теплоотдачи со стороны фреона, критерия Нуссельта и числа Рейнольдса позволили найти критериальное уравнение теплоотдачи и коэффициенты гидравлических сопротивлений для вставок различной пористости из алюминия.

Были определены коэффициенты проницаемости для вставок с различной пористостью, которые могут быть использованы при проведении теоретических расчетов и проектировании теплообменных аппаратов с пористыми вставками.

**В третьей главе** выполнено расчетно-теоретическое исследование теплоотдачи в пористых вставках из алюминия хаотичной структуры, проведена оценка и установлены закономерности процессов теплоотдачи от поверхности поровых каналов к фреону. Получено критериальное уравнение для оценки теплоотдачи в пористом алюминии хаотичной структуры, определен диапазон его применения. Проведено сравнение расчетных и экспериментальных значений критерия Нуссельта в зависимости от числа

Рейнольдса по критерию Фишера. Исследованы процессы гидродинамики в пористых вставках из алюминия с применением модифицированного закона Дарси. Найдены обобщающие зависимости и определены вязкостный и инерционный коэффициенты гидравлических сопротивлений, рассчитаны потери давления для всех образцов вставок из пористого алюминия.

Разработана физико-математическая модель параметров теплообменного аппарата с пористыми вставками, включающая описание основных теплофизических процессов теплообменника.

**В четвёртой главе** представлена методика теплового расчета теплообменного аппарата с пористыми вставкам из алюминия хаотичной структуры. Данная методика позволяет провести расчет основных параметров теплообменных аппаратов нового поколения и обеспечить корректное проектирование систем теплоснабжения с учетом специфики теплообмена в пористых металлах.

Выполнена технико-экономическая оценка возможности применения пористых вставок из алюминия хаотичной структуры в конденсаторах на теплоэлектростанциях, которая фактически является техническим предложением по применению теплообменных аппаратов с пористыми вставками.

**В заключение** приведены основные результаты и выводы, сделанные автором диссертационной работы.

#### **Научная новизна полученных результатов.**

В качестве основных научных результатов диссертационной работы можно отметить следующие:

Получено критериальное уравнение теплоотдачи, а также зависимости вязкостного и инерционного коэффициентов гидравлического сопротивления при течении фреона по пористой вставке из алюминия хаотичной структуры, учитывающие свойства теплоносителя и режимные параметры потока теплоносителя.

Разработана физико-математическая модель расчета параметров теплообменного аппарата с пористыми вставками из алюминия хаотичной структуры.

Разработана методика теплогидравлического расчета теплообменных аппаратов нового поколения, использующих пористые материалы.

Определен уровень тепловой эффективности и величина гидравлических потерь при использовании в конструкции кожухотрубных

теплообменных аппаратов пористых вставок из алюминия хаотичной структуры.

**Оценка обоснованности и достоверности результатов.** Автор диссертационной работы использует известные законы теплофизики, гидродинамики и термодинамики. Достоверность результатов подтверждается использованием в экспериментальных исследованиях лабораторного стенда с современными, высокоточными контрольно-измерительными приборами и поверенными средствами измерений; использованием при проведении теоретического исследования основных теоретических положений теории тепломассообмена; согласованностью аналитических расчетных данных с результатами проведенных экспериментов. На основании экспериментальных данных Рыдалиной Н.В. выполнены расчеты, подтверждающие корректность разработанной физико-математической модели.

**Практическая значимость** проведенных исследований заключается в том, что разработанная методика проведения теплового и гидравлического расчета теплообменного аппарата с пористыми вставками из алюминия хаотичной структуры позволяет, при проектировании систем теплоснабжения и теплообмена, проводить тепловой расчет теплообменников с учетом свойств теплоносителя, режимных параметров потока, пористости и индивидуальных геометрических параметров вставок. Предложено использовать кожухотрубные теплообменники с пористыми вставками из алюминия хаотичной структуры в системах, где может быть использован замкнутый контур течения чистых теплоносителей при небольших скоростях.

**По диссертации имеются следующие замечания:**

1. Задачи, поставленные автором в диссертации, не в полной мере характеризуют объем выполненных исследований. Они явно уже, чем реально выполненные.
2. Некорректно озаглавлен ряд пунктов:  
раздел 1.3: анализ, выполненный в этом подразделе, направлен на изучение результатов ранее выполненных исследований пористых металлов;  
раздел 4.3: включает техническое предложение и технико-экономическую оценку возможности его применения.
3. Нет конкретики в оценке эффективности внедрения (акт реализации) теплообменников с пористыми вставками из алюминия хаотичной структуры, примененных в производственном процессе в АО МПБК «Очаково» филиал г. Тюмени (акт внедрения от 23.06.2023).

Непонятно, насколько удалось уменьшить габариты теплообменников, а также повысить интенсивность теплообмена в непрерывном производственном процессе.

4. Автор не учитывает ни в расчетах, ни в технико-экономической оценке возможности применения аппаратов с пористыми вставками дополнительные затраты энергии на циркулирование теплоносителя, связанные с увеличением гидравлического сопротивления.
5. 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. Регрессионные уравнения в разных вариациях учитывают только один фактор, что вызывает сомнения в их объективности. Отсутствует общее уравнение регрессии, в котором должны присутствовать минимум два фактора: расход теплоносителя и пористость вставки (гидравлическое сопротивление).
6. Проектировочный расчет, приведенный в разделе 4.2, вызывает сомнения, что связано с отсутствием конструкции проектируемой кожухотрубной установки. Автор просто взял конструкцию теплообменников со стенда, которые в промышленном производстве практически не применяются, и рассчитал их параметры, что не вполне корректно.
7. Технико-экономическая оценка возможности применения пористых вставок из алюминия хаотичной структуры выполнена не вполне корректно. Вызывает сомнение эффективность конденсатора, имеющего площадь теплообмена в три раза меньше, чем у существующего. Кроме того, в расчетах не учтены дополнительные затраты на проектирование и изготовление (технологические затраты) образца конденсатора со вставками из пористого алюминия, не производимого серийно.

**Заключение.** Представленная диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, выполненной автором на высоком научном уровне. Полученные автором результаты являются новыми, достоверными и обоснованными. Автореферат отражает содержание

достоверными и обоснованными. Автореферат отражает содержание диссертационной работы, а её основные результаты опубликованы в рецензируемых изданиях.

Замечания не влияют на общую положительную оценку работы.

Диссертационная работа Рыдалиной Натальи Владимировны представляет собой завершённую научно-квалификационную работу и соответствует требованиям пунктов 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Автор диссертации достоин присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Я, Житомирский Борис Леонидович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

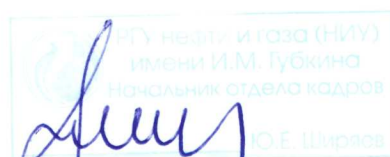
доктор технических наук по специальности 25.00.19

«Строительство и эксплуатация нефтегазовых объектов, баз и хранилищ», профессор кафедры термодинамики и тепловых двигателей ФГАОУ ВО "РГУ НЕФТИ И ГАЗА (НИУ) ИМЕНИ И.М. ГУБКИНА



Житомирский Борис Леонидович

20.02.2024



Почтовый адрес:

ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»,

119991, г. Москва, проспект Ленинский, дом 65, корпус 1.

Тел.: +7 (499) 507-88-88, e-mail: bomari@mail.ru

РГУ нефти и газа (НИУ)  
имени И.М. Губкина  
Рег. № 57/115  
от «25» 02 2014 г.