

Вх. № 8/24
от 06.03.24

МИНИСТЕРСТВО
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Казанский национальный
исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
(КНИТУ-КАИ)

К. Маркса ул., д. 10, Казань, 420111
Тел.: (843) 238-41-10 Факс: (843) 236-60-32
E-mail: kai@kai.ru, http://www.kai.ru
ОКПО 02069616, ОГРН 1021602835275
ИНН/КПП 1654003114/165501001

04.03.2024 № 1160930-03-1-24
На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной и
инновационной деятельности
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Казанский национальный
исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ»
д.т.н., доцент



В.М.Бабушкин

« 04 » марта 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

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

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Рыдалиной Н.В. связана с изучением теплоотдачи и гидродинамики в пористых вставках из алюминия хаотичной структуры, используемых в кожухотрубных теплообменных аппаратах, при течении по ним фреона.

Использование в конструкциях теплообменных аппаратов пористых металлов позволяет уменьшить их габариты, а вместе с тем увеличить интенсивность процессов теплообмена. Пористые вставки возможно использовать в теплообменниках различного назначения. Физическая основа этого способа заключается в высокой интенсивности теплообмена между металлическим каркасом и протекающим сквозь него теплоносителем вследствие высокоразвитой поверхности их соприкосновения и эффективного перемешивания в порах.

Современные технологии металлургии позволяют создавать пористые материалы различной структуры. Для успешного конструирования теплообменных аппаратов с применением пористых структур необходимо иметь информацию о гидравлическом сопротивлении и о величине теплоотдачи от поверхности пористой структуры к протекающему по порам теплоносителю. При этом важно учитывать геометрические параметры вставок, свойства теплоносителя и режимные параметры потока. Таким образом для получения закономерностей, характеризующих интенсивность теплообмена и величину гидравлических сопротивлений, в пористых хаотичных структурах при течении по ним фреона необходима информация из экспериментальных исследований подобного рода структур. Можно отметить отсутствие исследований течения фреона по пористым хаотичным структурам при среднем диаметре пор 0,8-1,9 мм. Поэтому проведенные экспериментальные исследования и их обобщение в виде критериального уравнения теплоотдачи и зависимостей для вязкостного и инерционного коэффициентов гидравлического сопротивления являются **важными** и **востребованными**. Следовательно разработка на основе

полученных закономерностей физико-математической модели расчета параметров теплообменного аппарата с пористыми вставками из алюминия хаотичной структуры является *актуальной* задачей.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем диссертации – 120 страниц, имеется 38 рисунков и 16 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулирована цель работы и поставлены основные задачи исследования, указана научная новизна и практическая значимость работы, приведены положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведён анализ современного состояния изученности вопроса использования пористых металлов в конструкциях теплообменных аппаратов. Проведен анализ исследований по существующим видам пористых структур и способам их получения. Обстоятельно рассмотрены конструктивные предложения по использованию в теплообменниках пористых металлов. Подробно описываются принципы работы теплообменных аппаратов с пористыми металлами в конструкциях.

Проведено всестороннее исследование работ посвященных изучению основных принципов теплового и гидравлического расчета теплообменников с пористыми металлами. Среди этих работ акцент сделан на фундаментальные исследования Попова И. А., Щукина В. К., Гортышова Ю.Ф., Белова С. В., в которых имеются обобщения экспериментальных данных по пористым структурам с различным строением поровых каналов (форма и размер пор, извилистость, шероховатость поверхностей). Проведен сравнительный анализ результатов полученных исследований. Сделан вывод об отсутствии физико-математической модели параметров теплообменного аппарата с пористыми вставками хаотичной структуры. Сформулированы задачи исследования.

Во второй главе описана методика проведения экспериментальных исследований и методика обработки полученных результатов. Сделаны выводы о возможности использования в конструкциях теплообменных аппаратов пористых вставок из алюминия для повышения эффективности теплообмена.

В работе описан объект исследования - пористые вставки из алюминия хаотичной структуры, по которым движется охлаждающий теплоноситель фреон. Приводятся средние размеры пор исследуемых образцов, а также величина коэффициента пористости. Приведена схема экспериментальной установки и подробно описан принцип ее работы. Произведена оценка погрешностей, возникающих при проведении эксперимента.

Представлены результаты проведенных экспериментов при различных значениях объемных расходов. Произведен сравнительный анализ величины тепловой мощности теплообменника без пористых вставок с теплообменниками, в которых имеются пористые вставки.

Представлена методика обработки полученных экспериментальных данных для получения количественной закономерности теплоотдачи от поверхности поровых каналов к фреону. При этом автором предлагается использовать кластерную модель.

Рассматривается автором и анализируется изменение температуры при выходе экспериментальной установки на стационарный режим работы. Представлены результаты проведённых измерений величины гидравлических потерь при движении фреона по пористым вставкам теплообменных аппаратов.

В третьей главе представлен вывод критериального уравнения теплоотдачи, а также зависимостей для коэффициентов гидравлического сопротивления.

Для вывода критериального уравнения теплоотдачи установлена логарифмическая зависимость между критерием Нуссельта и числом Рейнольдса. Проведена верификация данных, полученных по выведенному критериальному уравнению теплоотдачи, путем сопоставления с данными полученными в результате экспериментальной работы. Полученное критериальное уравнение описывает процесс теплоотдачи с точностью $\pm 15\%$.

Представлен в работе вывод зависимостей для вязкостного и инерционного коэффициентов гидравлического сопротивления. При выводе использовалась методика Ю. В. Ильина, основанная

на использовании модифицированного закона Дарси и построении зависимости комплекса A от удельного расхода. Произведено сравнение потерь давления по экспериментальным данным и данным, полученным в результате расчетов с использованием выведенных зависимостей для коэффициентов гидравлического сопротивления.

Автором предложена физико-математическая модель расчета параметров теплообмена для теплообменного аппарата с пористыми вставками, включающая в себя полученное критериальное уравнение теплоотдачи, зависимости для вязкостного и инерционного коэффициентов гидравлического сопротивления, а также параметров кластерной модели. Предложенная физико-математическая модель позволяет получать различные методики теплогидравлического расчета теплообменных аппаратов с пористыми вставками, в зависимости от имеющихся исходных данных.

В четвертой главе представлены результаты практического применения полученных результатов. На основе уравнений, входящих в физико-математическую модель расчета параметров теплообменного аппарата с пористыми вставками, разработана одна из методик проведения теплогидравлического расчета. Приведен пример теплогидравлического расчета и сделаны выводы об увеличении коэффициента теплопередачи с увеличением пористости вставок теплообменного аппарата.

Выполнен предварительный технико-экономический расчет возможности применения пористых металлов в конструкции конденсатора с фреоном в качестве охлаждающего теплоносителя.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Научная новизна полученных результатов:

1. На основе обобщения экспериментальных данных получено критериальное уравнение теплоотдачи и зависимости для коэффициентов гидравлического сопротивления при течении фреона по пористой вставке из алюминия хаотичной структуры, учитывающие свойства теплоносителя, режимные параметры потока и геометрические параметры вставок.
2. На основе полученного критериального уравнения теплоотдачи и зависимостей для вязкостного и инерционного коэффициентов гидравлического сопротивления, разработана физико-математическая модель расчета параметров теплообменного аппарата с пористыми вставками из алюминия хаотичной структуры и методика теплогидравлического расчета.
3. Определен уровень тепловой эффективности и величина гидравлических потерь при использовании в конструкции кожухотрубного теплообменного аппарата пористых вставок из алюминия хаотичной структуры.

Теоретическая и практическая значимость результатов

Автором получено критериальное уравнение для оценки теплоотдачи в пористых вставках из алюминия хаотичной структуры, на основе обобщения проведенных экспериментальных исследований. Указаны диапазоны изменения скоростей теплоносителя, пористости материала, средние диаметры пор, для которых справедливо выведенное уравнение.

Получены обобщающие зависимости вязкостного и инерционного коэффициентов гидравлического сопротивления, позволяющие вычислить гидравлические потери при движении теплоносителя по пористой вставке хаотичной структуры.

Автором предложено использовать кластерную модель при проведении теплового расчета теплообменного аппарата.

Полученные результаты могут быть использованы при проведении теплогидравлических расчетов теплообменных аппаратов с пористыми вставками хаотичной структуры.

Степень достоверности результатов исследования

Достоверность диссертационной работы подтверждается использованием в экспериментальных исследованиях лабораторного стенда с современными, высокоточными контрольно-измерительными приборами и поверенными средствами измерений при проведении

экспериментальных исследований; использованием при проведении теоретического исследования основных теоретических положений теории теплообмена; согласованностью аналитических расчетных данных с результатами проведенных экспериментов.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Кожухотрубные теплообменники с пористыми вставками из алюминия хаотичной структуры предлагается использовать для установок в системах, где может быть использован замкнутый контур течения чистых теплоносителей при небольших скоростях. Например, теплообменные аппараты рассматриваемого типа можно применять в технологических процессах пищевой и химической промышленности. Результаты диссертационной работы могут быть использованы для проведения теплогидравлического расчета таких кожухотрубных теплообменников.

Замечания по работе:

1. Цель работы не охватывает исследование гидродинамических параметров, хотя они составляют значительную часть работы.
2. В чем научная новизна работы с точки зрения исследования пористого материала? Имеется ведь большое количество в этой области науки. Необходимо оговорить дополнительно данный момент.
3. В чем суть полученных корреляций между тепловой мощностью и расходом одного из теплоносителей – воды, в п.2.3 диссертационной работы? Во-первых – на тепловую мощность влияют еще множество параметров – расход второго теплоносителя, геометрические параметры теплообменника, теплофизические свойства теплоносителей. Во-вторых – в чем цель такого обобщения?
4. Используя поверхностный коэффициент теплоотдачи в порах необходимо было бы использовать температуру каркаса пористой вставки, а в расчетную формулу входит температура стенки трубки. В этом случае, должен был появиться коэффициент оребрения, учитывающий перенос теплоты по каркасу пористой вставки и тем самым изменение температуры в каркасе.
5. Какой режим течения реализовывался при течении фреона в пористой вставкой? Как автор контролировал фазовое состояние (отсутствие вскипания)? В соответствии с какими критериями был выбран для исследований как теплоносителя фреон данной марки? По каким соображениям выбран пористый материал данной структуры и пористости?
6. Вывод по главе 2 содержит фразу – оценена погрешность экспериментальных исследований 4,95%. По какому параметру? Почему оценена погрешность, а не неопределенность по современному ГОСТ 34100.3-2017 Неопределенность измерения.
7. В формулах 3.32 инерционный и вязкостный коэффициенты – величины размерные. Откуда взялись размеры, если входящие в формулу величины – безразмерные?
8. Параграф 4.3 содержит расчет промышленный конденсатора с пористой вставкой и фреоном в качестве теплоносителя. Но фреон достаточно не дешевый теплоноситель – целесообразно ли экономически его использование.
9. При распечатке диссертации произошли неудачные переносы наименований глав и параграфов – они на одной странице, а текст – на другой.

Заключение

Указанные замечания носят рекомендательный характер, не снижают общей высокой оценки диссертационной работы.

Основные результаты научно-квалификационной работы опубликованы в 20 печатных работах, в том числе в 2 работах в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий установленный Министерством образования и науки Российской Федерации для представления результатов кандидатских диссертаций, в них достаточно полно отражены основные результаты диссертационной работы. Результаты докладывались на 11 авторитетных конференциях российского и международного уровня. Автореферат диссертации соответствует содержанию диссертационной работы и отражает ее основные результаты, положения и выводы.

