

Министерство образования и науки
Российской Федерации



Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«Московский государственный
технический университет
имени Н.Э. Баумана»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
Тел. (499) 263-63-91 Факс (499) 267-48-44
E-mail: bauman@bmstu.ru

12.10.2015 № *01.03-02/418*

на № _____ от _____

Председателю диссертационного
совета Д.212.079.02 Ю.Ф. Гортышову
420111, г. Казань, ул. К.Маркса, д. 10

Направляю Вам отзыв на диссертационную работу Яркаяева Марселя Зуфаровича «Теплогидравлическая эффективность профилированных каналов различной формы при ламинарном, переходном и турбулентном режимах течения теплоносителей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, и сведения о ведущей организации.

Приложение: 1. Отзыв, на 7 л., 2-х экз.;

2. Сведения о ведущей организации, на 3 л., в 2-х экз.

Первый проректор - проректор по научной работе
д-р техн. наук, профессор

В.Н. Зимин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования	
«Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ)	
Вх: №	<i>0423</i>
От: <i>12</i> * <i>10</i>	20 <i>15</i> г.

00820051



Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«Московский государственный
технический университет
имени Н.Э. Баумана»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
Тел. (499) 263-63-91 Факс (499) 267-48-44
E-mail: bauman@bmstu.ru

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор - проректор по
научной работе

д-р техн. наук, профессор

В.Н. Зимин

2015 г.



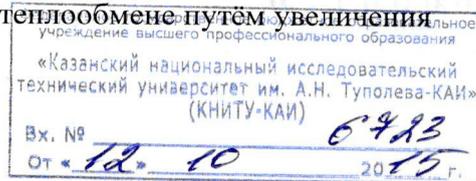
№ _____
на № _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации, ФБГОУ ВПО «Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана», на диссертационную работу Яркаева Марселя Зуфаровича «Теплогидравлическая эффективность профилированных каналов различной формы при ламинарном, переходном и турбулентном режимах течения теплоносителей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

1. Актуальность диссертационной работы

К современному теплообменному оборудованию предъявляется ряд технических и теплофизических требований, связанных, в значительной степени с сокращением его массогабаритных характеристик при сохранении теплогидравлической эффективности. В процессе эксплуатации теплообменных аппаратов имеет место проблемы загрязнения и коррозии материалов теплообменных поверхностей. Решение указанных проблем связано и использованием различных способов интенсификации теплоотдачи, в том числе организации вихревых и отрывных течений. Последние приводят к снижению термического сопротивления пристенных слоёв при конвективном теплообмене путём увеличения



поперечного переноса теплоты и импульса. В тоже время организация вихревых потоков уменьшает отложение загрязнений на теплообменных поверхностях, позволяя сохранить заявленный уровень теплопередачи при длительной эксплуатации теплообменного оборудования.

В современных теплообменных аппаратах в основном используются геометрические методы интенсификации теплоотдачи (профилированные, дискретно-шероховатые поверхности), которые отличаются технологичностью и достаточно высокой теплогидравлической эффективностью. Структура профиля поверхности может являться неотъемлемой частью теплообменной поверхности (равномерно нанесенные или дискретные двух-, трехмерные выемки/выступы и т.д.) или являться элементами турбулизирующих вставок. В первом случае профиль достигается механической обработкой поверхности (например, накатка, нарезание резьбы, нарезание пазов), штамповкой, отливкой, сваркой. В результате, возможно, получить практически бесконечное количество разнообразных геометрических конфигураций элементов профиля поверхности.

В представленной работе выполнены исследования теплогидравлических характеристик труб со сферическими и кольцевыми выступами при вынужденном течении теплоносителя, а также испытания, в широком диапазоне режимов течения теплоносителей, кожухотрубного теплообменного аппарата со сменными пучками труб, на которых нанесены системы сферических и кольцевых выступов.

2. Степень обоснованности научных положений

Научные положения, выносимые на защиту, обоснованы и раскрыты в тексте диссертации и в опубликованных соискателем работах.

3. Научная новизна

Научная новизна в диссертации заключается в следующем:

1. Проведены экспериментальные исследования гидравлического сопротивления и средней теплоотдачи труб с кольцевыми выступами при вынужденном течении воды для диапазона чисел Рейнольдса $Re = 200 - 2,4 \cdot 10^3$.

2. Проведены экспериментальные исследования гидравлического сопротивления и средней теплоотдачи труб со сферическими выступами при вынужденном течении воды для диапазона чисел Рейнольдса $Re = 200 - 10^5$.

3. Выявлено влияние безразмерных геометрических и режимных параметров на аэродинамическое сопротивление пучков труб с различной компоновкой и плотностью нанесения сферических выемок.

4. Определены границы ламинарно-турбулентного перехода в трубах со сферическими и кольцевыми выступами в широком диапазоне изменения геометрических безразмерных параметров.

5. Установлено влияние основных геометрических безразмерных и режимных параметров на гидравлическое сопротивление и среднюю теплоотдачу труб со сферическими выступами при вынужденном течении теплоносителей в диапазоне чисел $Re_D = 5 \cdot 10^3 - 10^5$ и $Pr = 0,7 - 92$. Впервые получены обобщающие зависимости, описывающие совместно «коридорное» и «шахматное» расположение сферических выступов.

6. Разработаны рекомендации для инженерных расчетов кожухотрубных теплообменных аппаратов с поверхностными интенсификаторами теплоотдачи в виде сферических и кольцевых выступов.

7. Проведено промышленное испытание лабораторных образцов кожухотрубных теплообменных аппаратов с поверхностными интенсификаторами теплоотдачи в виде сферических и кольцевых выступов на испытательных стендах.

Диссертация является законченной самостоятельной научно-квалификационной работой.

4. Достоверность полученных результатов.

Достоверность результатов обеспечена привлечением современного научного оборудования и высокоточных приборов с использованием аттестованных методик в сертифицированных лабораториях, необходимым количеством экспериментальных данных для корректной статистической обработки.

Выводы диссертационной работы научно обоснованы и не вызывают сомнений.

5. Практическая ценность

Полученные результаты и сделанные выводы представляют научно-практический интерес при проектировании и создании новых образцов компактного высокоэффективного теплообменного оборудования. Результаты фундаментальных исследований доведены до практических рекомендаций и апробированы при натурных испытаниях образцов теплообменных аппаратов с интенсификаторами теплоотдачи, результаты которых показали

высокую теплогидравлическую эффективность от использования исследованных типов интенсификаторов.

Диссертационная работа выполнялась в 2009 - 2015 гг. при финансовой поддержке РФФИ и в рамках госконтракта с Минобрнауки РФ.

6. Апробация работы

По материалам диссертации опубликованы 30 печатных работ, включая 7 статей в центральных российских изданиях (из списка ВАК РФ), 1 статью (из списка базы данных Scopus), 23 публикации тезисов и материалов докладов на Международных и Всероссийских конференциях.

7. Структура, объём и основное содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников. Объем диссертации составляет 149 страниц. В работе содержится 14 таблиц и 95 рисунков.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель работы и основные задачи исследования. Показана научная новизна и практическая значимость работы, приводятся основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе в виде критического анализа рассмотрены результаты предшествующих исследований теплоотдачи и гидродинамики в каналах с поверхностными интенсификаторами теплоотдачи в виде сферических и кольцевых выступов в каналах и сферических выемок при внешнем поперечном обтекании труб. Определены диапазоны и направления исследований для наполнения существующих баз данных по интенсификации теплообмена с использованием указанных интенсификаторов теплообмена. Анализ работ выполнен по отечественным и зарубежным авторам.

Во второй главе представлена методика проведения и обработки результатов экспериментов по изучению коэффициентов теплоотдачи и коэффициентов гидросопротивления в задачах интенсификации внешнего и внутреннего конвективного теплообмена. Обоснована достоверность получаемых данных.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований теплоотдачи и гидросопротивления в каналах со сферическими и кольцевыми выступами. Получены критериальные зависимости для теплоотдачи и гидросопротивления при ламинарном и турбулентном режимах течения в каналах со сферическими выступами. Получены новые критериальные уравнения зависимости для теплоотдачи и гидросопротивления при ламинарном режиме течения в каналах с кольцевыми выступами. Данные для переходной области представлены в графическом и табличном видах. Даны

результаты сравнительного анализа исследований гидравлического сопротивления при внешнем обтекании пучков труб с системами сферических выемок.

В четвертой главе проведен анализ теплогидравлических характеристик образцов кожухотрубчатого теплообменного аппарата с интенсификаторами в виде сферических и кольцевых выступов. Проведено сравнение с результатами испытаний в том же диапазоне изменения определяющих режимных параметров теплообменного оборудования и показана высокая теплогидравлическая эффективность предлагаемых интенсификаторов теплоотдачи.

В заключении кратко изложены основные результаты выполненных исследований.

8. Соответствие тематики и содержания диссертации выбранной специальности

Тема и содержание диссертации, результаты исследований полностью соответствуют паспорту научной специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника», а именно п. 5 «Экспериментальные и теоретические исследования однофазной, свободной и вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей, режимных и геометрических параметров теплопередающих поверхностей» и п. 9 «Разработка научных основ и создание методов интенсификации процессов тепло- и массообмена и тепловой защиты».

9. Замечания по диссертации

1. В работе приведены результаты тестовых экспериментов по определению гидравлического сопротивления и теплоотдачи к теплоносителю в гладкой цилиндрической трубе (п. 2.1.6). Результаты этих экспериментов для ламинарного режима течения теплоносителя сравниваются с зависимостью 2.21, в которой предполагается реализация вязкостно-гравитационного режима течения и зависимость числа Нуссельта от чисел Рейнольдса, Прандтля, Грасгофа, а не его постоянство, характерное для вязкостного режима течения. При этом отсутствует оценка возможности возникновения этого режима в условиях проведения экспериментов и корректности использования зависимости 2.21.

2. В работе приведены данные по значению критического числа Рейнольдса, определяющего переход от ламинарного к переходному режиму течения (например, на стр. 78), однако не приводится методика оценки этих значений.

3. В п. 3.3 дан анализ гидродинамической картины обтекания и механизмов теплоотдачи в каналах со сферическими выступами, в котором говорится об аналогии между условиями обтекания одиночного выступа и системы выступов (стр. 96). Известно, что условия поперечного обтекания одиночного цилиндра отличаются от условий поперечного обтекания пучка цилиндрических стержней (Жукаускас А.А. «Конвективный перенос в

теплообменниках»). В связи с этим, вышеописанное заключение, которое делает автор, вызывает сомнения.

4. Не понятна постановка задачи и результаты численного моделирования течения и теплообмена в теплообменных аппаратах, описанного в п. 4.5.

5. При обобщении экспериментальных данных разброс экспериментальных точек остается значительным на результирующих графиках. Не объяснена причина такого разброса.

6. Почему автором для испытаний теплообменных аппаратов были выбраны именно такие параметры интенсификаторов, которые судя по обобщающим графикам (3.17 и 3.33) являются неоптимальными с точки зрения теплогидравлической эффективности?

7. Оптимум по опережающему росту теплоотдачи над сопротивлением (рисунки 3.17 и 3.33) находится в диапазоне от 1000 до 4000 по числу Рейнольдса. Область работы по числу Рейнольдса теплообменных аппаратов, особенно с использованием воды, лежит гораздо выше оптимального. Необходимо обосновать применимость этих поверхностей с интенсификаторами для такого типа теплообменных аппаратов именно для такого диапазона чисел Рейнольдса.

8. По проведенным испытаниям теплообменных аппаратов видно, что наблюдается значительный рост гидросопротивления (за исключением сферических выемок) над теплоотдачей. Непонятно, зачем в этом конкретном случае были использованы интенсификаторы теплообмена, так как очевидно, что просто увеличением скорости теплоносителей можно было бы достичь большего эффекта?

9. Когда рассматриваются теплообменные аппараты стр. 118 написано шаг выступов 1,25, а если поделить $0,0012/0,008$, то получается 1,5 где ошибка?

10. Соответствие диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Представленная диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. Диссертация обладает внутренним единством.

Личный вклад автора заключался в анализе литературных данных по тематике работы, в планировании исследований, проведении экспериментов, анализе полученных результатов, написании научных статей и докладов. Самостоятельно провел комплексные экспериментальные исследования конвективного теплообмена в каналах со сферическими выемками в широком диапазоне определяющих режимных и конструктивных параметров,

СВЕДЕНИЯ О ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

по диссертационной работе Яркава Марсея Зуфаровича на тему: «Теплогидравлическая эффективность профилированных каналов различной формы при ламинарном, переходном и турбулентном режимах течения теплоносителей» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 - «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

№	Полное наименование организации, почтовый адрес (индекс, город, улица, дом), телефон, адрес электронной почты	Фамилия, Имя, Отчество, учёная степень, ученое звание авторов отзыва, должность с указанием структурного подразделения	Список основных публикаций работников (авторов отзыва) ведущей организации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (но не более 15 публикаций)
1	2	3	4
1	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» Почтовый адрес: 105005, г. Москва, 2-ая Бауманская ул., д.5, стр. 1	Арбеков Александр Николаевич кандидат технических наук, доцент кафедры «Газотурбинные и нетрадиционные энергоустановки» Егоров Кирилл Сергеевич кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплофизика» Марков Павел	1. Арбеков, А. Н. Эффективность теплопередачи в рекуперативных теплообменниках с высокоскоростными газовыми потоками при низких числах Прандтля [Текст] / А.Н. Арбеков, И.Г. Суровцев, П.Б. Дермер // ТВТ. – 2014. - Т52:3. – С. 463-468. 2. Арбеков, А. Н. Выбор термодинамического цикла замкнутой газотурбинной установки космического аппарата с целью минимизации поверхности холодильника-излучателя [Текст] / А.Н. Арбеков// ТВТ. – 2014. - №52:4. – С. 613–616. 3. Арбеков, А.Н. Тригенерационный цикл как путь создания многоцелевых стационарных энергетических установок на основе конверсии двухконтурных турбореактивных двигателей [Текст] / А. Ю. Варакин, А. Н. Арбеков, А. А.

<p>Тел. (499) 263-63-91, Факс (499) 267-48-44 Эл. почта: bauman@bmstu.ru Сайт: http://www.bmstu.ru <u>ц</u></p>	<p>Владимирович кандидат технических наук, доцент кафедры «Ядерные реакторы и установки».</p>	<p>Иноземцев // Доклады Академии наук. – 2014. – Т.458, № 5. – С. 539-541.</p> <p>4. Егоров, К.С. Экспериментальное исследование характеристик пластинчато-ребристых высококомпактных поверхностей теплообмена [Электронный ресурс] / К.С. Егоров // Труды МАИ. – 2012. – №52. – Режим доступа: http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?id=29545.</p> <p>5. Егоров, К.С. Цилиндр в пограничном слое плоской пластины [Текст]/ В.Н. Афанасьев, С.А. Бурцев, К.С. Егоров, А.Ю. Кулагин // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия: машиностроение. – 2011. – №2. – С.3-22.</p> <p>6. Егоров, К.С. Исследование характеристик высококомпактных пластинчато-ребристых поверхностей теплообмена со смещенным ребром [Текст] / К.С. Егоров, Н.Л. Щеголев // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. – №6. – С. 351-360.</p> <p>7. Марков, П.В. Течение и массоперенос в малостержневых пучках оребренных твэлов применительно к реакторной установке Брест-ОД-300 [Текст] / С.И., В.Г. Крапивцев, П.В. Марков, В.И. Солонин // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия: машиностроение. – 2015. – Т.1, №1. – С.84-92.</p> <p>8. Марков, П.В. Гидродинамика сотовой решетки-интенсификатора, создающей конвективный перенос, для реакторных установок с водой под давлением [Текст] / В.И. Солонин, П.В. Марков // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 2011. – №3. – С. 18-25.</p>
---	---	--

		<p>9. Марков, П.В. Моделирование течения в пучке цилиндрических твэлов реактора ВВЭР, дистанционированных сотовой решеткой [Текст] / П.В. Марков, В.И. Солонин // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия: машиностроение. – 2011. – №3. – С. 17-29.</p> <p>10. Марков, П.В. Моделирование теплоотдачи к газовому теплоносителю с пониженным значением числа Прандтля [Текст] / Т.Н. Куликова, П.В. Марков, В.И. Солонин // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2015. – №6. – С. 420-437.</p> <p>11. Марков, П.В. К вопросу о численном расчете теплоотдачи от стержневых тепловыделяющих элементов ядерных реакторов ВВЭР [Текст] / П.В. Марков // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2014. – №11. – С. 790-799.</p> <p>12. Марков, П.В. Гидродинамические особенности течения в пучках оребренных твэлов с увеличенным шагом дистанционирования [Текст] / П.В. Марков, В.И. Солонин // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия: машиностроение. – 2013. – №4. – С. 60-70.</p>
--	--	--

Верно
af

