

В диссертационный совет Д 212.079.02 при  
ФГБОУ ВО «Казанский национальный  
исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева-КАИ»

420111, г. Казань, ул.К.Маркса, д.10

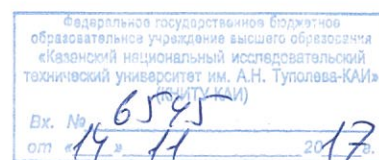
## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
Злобина Андрея Витальевича «Теплоотдача и гидравлическое сопротивление  
труб с непрерывной шероховатостью стенок, в том числе со вставленной  
скрученной лентой», представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и  
теоретическая теплотехника

### Актуальность работы.

Одними из важнейших задач, стоящих перед современной промышленностью, являются энергосбережение и энергоэффективность. При разработке теплообменного оборудования для энергоустановок и двигателей эти задачи приводят к необходимости создания конструкций, обладающих высокой эффективностью (обеспечивающих высокие значения коэффициентов теплопередачи и сравнительно низкое гидравлическое сопротивление) при малых габаритных размерах. Наиболее перспективными способами повышения эффективности теплообменного оборудования являются закрутка потока и организация на теплопередающих поверхностях искусственной шероховатости. К сожалению, исследование влияния перечисленных способов на теплогидравлическую эффективность теплообменного оборудования и разработка методов их расчета в настоящее время еще далеки от своего завершения. В связи, с этим, выбранная тема исследования, безусловно, является актуальной.

Актуальность исследований подтверждается также и тем, что они поддержаны многочисленными грантами и программами РФ, а именно аналитической ве-



домственной целевой программой «Развитие научного потенциала высшей школы (2006-2008)» Российским фондом федеральных исследований, Фондом НИОКР Республики Татарстан и др.

**Целью** диссертационной работы Злобина А.В. является получение зависимостей и рекомендаций по расчету гидравлического сопротивления и коэффициента теплоотдачи в трубах с искусственной шероховатостью и закруткой потока.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка условных обозначений и списка литературных источников, включающего 104 наименования. Текст диссертации напечатан на 172 страницах и содержит 140 рисунков и 8 таблиц.

**Во введении** сформулированы цель и задачи исследования, показаны актуальность, научная новизна и достоверность полученных результатов, теоретическая и практическая значимость исследования.

**В первой главе** приведена классификация шероховатых поверхностей, обзор предшествующих исследований гидравлического сопротивления и конвективного теплообмена в трубах с искусственной шероховатостью. Рассмотрены основные закономерности теплоотдачи при кипении в трубах с искусственной шероховатостью. В результате изучения литературных источников сделан вывод о том, что диапазон исследованных геометрий шероховатостей и режимных параметров весьма ограничен. Кроме того, отсутствуют сведения об исследованиях важного для практики процесса кипения закрученных потоков в шероховатых каналах. На основании материалов первой главы сформулированы цель и задачи исследования.

**Вторая глава** посвящена описанию экспериментальных установок и методов исследования. Для проведения экспериментальных исследований гидравлического сопротивления прямых труб и труб со скрученной лентой при наличии искусственной шероховатости был спроектирован и создан экспериментальный стенд. Для исследования теплоотдачи в трубах с искусственной шероховатостью в виде метрической резьбы неполного и полного профиля, в том числе при наличии скрученной ленты, а также при кипении фреона R134a, использовались еще три имеющихся экспериментальных стенда. В качестве экспериментальных участков

использовались пластиковые и металлические трубы с искусственной шероховатостью треугольного, прямоугольного, скругленного и трапециевидного профиля, а также скрученные ленты с различным шагом скрутки.

Описаны зависимости для определения коэффициента гидравлического сопротивления, эквивалентного диаметра трубы, коэффициента теплоотдачи. Описана методика и проведена оценка неопределенности экспериментальных исследований. Проведены тестовые опыты по измерению гидравлического сопротивления и коэффициента теплоотдачи в гладких трубах, которые подтвердили работоспособность используемых экспериментальных стендов.

**В третьей главе** представлены результаты экспериментального исследования гидравлического сопротивления при движении однофазного потока в прямых трубах и трубах с закруткой потока при использовании искусственной шероховатости. Представлены зависимости гидравлического сопротивления шероховатых труб с треугольным профилем шероховатости от числа Рейнольдса (общепринятого и модифицированного) и безразмерной высоты шероховатости. Приведены данные, показывающие влияние профиля шероховатости на коэффициент гидравлического сопротивления.

Получены обобщающие выражения для расчета коэффициента сопротивления в трубах с шероховатостями треугольного профиля для диапазонов  $Re=6000-120000$  и  $Re>120000$ , прямоугольного профиля для диапазонов  $Re<80000$  и  $Re>80000$ , скругленного профиля для диапазонов  $Re<70000$  и  $Re>70000$ . Зависимости для низких значений числа Рейнольдса получены в виде экспоненциальных уравнений первого порядка, где коэффициенты являются функциями относительной шероховатости. Зависимости при высоких значениях числа Рейнольдса представляют собой степенные функции.

Влияние скрученной ленты на гидравлическое сопротивление исследовалось при значениях относительного шага ленты 2,5, 3,5, 4, 5, 7. Получены обобщающие зависимости коэффициента сопротивления в трубах с треугольным профилем шероховатости и скрученной лентой для диапазона  $Re = 3000-30000$  и в автомобильном режиме ( $Re=30000-80000$ ). Исследования показали, что наименьшим сопротивлением обладают трубы с шероховатостью треугольного профиля как в закрученном, так и в незакрученном потоках.

**В четвертой главе** представлены результаты экспериментального исследования теплоотдачи в трубах с закруткой потока и искусственной шероховатостью. Исследования проводились в трубах с полным и неполным профилем нарезки резьбы с различным шагом. В качестве рабочих жидкостей использовалась дистиллированная вода и фреон R134a. Получены распределения локальных значений температуры стенки трубы и коэффициента теплоотдачи по длине трубы при различных значениях высоты и шага нарезки резьбы. Полученные результаты обработаны в виде зависимости приведенного числа Нуссельта от числа Рейнольдса. Проведено сравнение экспериментальных данных с данными других авторов. Получена обобщающая зависимость для расчета теплоотдачи в трубах с шероховатостью в диапазоне чисел Рейнольдса от 6000 до 160000. Аналогичные результаты получены для шероховатых труб с закруткой потока дистиллированной воды и фреона R134a.

Теплогидравлическая эффективность оценивалась как отношение степени увеличения числа Нуссельта по сравнению с гладкой трубой к аналогичной степени увеличения гидравлического сопротивления. Исследование показало, что наибольшая эффективность достигается при нанесении шероховатости минимальной глубины нарезки при небольших значениях числа Рейнольдса без использования скрученной ленты.

Экспериментальное исследование теплообмена при кипении фреона R134a показало, что наибольшее влияние на процесс оказывает плотность подводимого теплового потока. Увеличение степени закрутки потока приводит к увеличению значений коэффициента теплоотдачи.

Выводы диссертации являются обоснованными и отражают основные результаты, полученные соискателем.

Автореферат и список публикаций по работе полностью соответствуют диссертации.

**Научная новизна диссертационной работы** заключается в том, что в результате обработки большого объема полученных автором экспериментальных данных впервые получены обобщающие зависимости для расчета гидравлического сопротивления и теплоотдачи при ламинарном и турбулентном течении однофаз-

ных потоков в трубах с искусственной шероховатостью различных типов и скрученной лентой, а также выявлены особенности кипения фреона в аналогичных трубах.

**Достоверность полученных результатов** подтверждается использованием апробированных методик экспериментальных исследований, аттестованных и калиброванных измерительных приборов и систем, а также хорошим совпадением полученных данных с данными других авторов и согласование их с современными представлениями о теплоотдаче и динамики однофазных и двухфазных течений.

**Практическая значимость** работы заключается в том, что полученные обобщающие уравнения для расчета коэффициентов сопротивления и коэффициентов теплоотдачи, а также выводы, сделанные в результате исследований, могут быть использованы и учтены при расчете и проектировании теплообменного оборудования в процессе модернизации действующих и создании новых энергетических установок в различных отраслях промышленности.

#### **Рекомендации по использованию результатов диссертации.**

Представляет большой интерес дальнейшее проведение исследований и систематизации результатов по теплогидравлическим характеристикам потоков в теплообменных аппаратах, поиск эффективных способов интенсификации теплообменных процессов. Представляется целесообразным также включение полученных результатов в разнообразные базы данных и справочные пособия по гидравлическим сопротивлениям и теплоотдаче в теплообменном оборудовании.

Полученные в диссертации результаты могут оказаться полезными для инженеров и научных работников, занимающихся разработкой и проектированием теплообменного оборудования. Материалы диссертации могут быть переданы в следующие организации: Московский энергетический институт (Технический университет), Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, Московский авиационный институт (МАИ), Казанский национальный исследовательский технологический университет, АО «Татэнерго» (г. Казань),

ПАО «Мосэнерго», НПП ОПЕКС Энергосистемы (г. Белгород), инженеринговую компанию ЗАО «Лотос» (г. Казань).

По теме диссертации опубликовано 20 печатных работ, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на Второй Российской конференции «Тепломассообмен и гидродинамика в закрученных потоках» (г. Москва, 2005 г.); Международной научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики» (г. Казань, 2007, 2015 гг.); Всероссийской молодежной научной конференции «Туполевские чтения» (г. Казань, 2004, 2005, 2006, 2008 гг.); VI Минском международном форуме по тепло- и массообмену (г. Минск, 2008 г.), VIII школе-семинаре «Проблемы тепломассообмена и гидродинамики в энергомашиностроении» (г. Казань, 2012 г.), 4-й научно-практической конференции «Инновации молодежи – перспективы развития газотранспортных предприятий» (г. Казань, 2013 г.), на XV научно-технической конференции молодых руководителей и специалистов ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» (г. Екатеринбург, 2014 г.), научно-практическом семинаре «Основные направления повышения энергоресурсоэффективности и экологической безопасности газотранспортных систем» в рамках XXVI Международной Чугаевской конференции по координационной химии (г. Казань, 2014 г.) и др.

#### **Замечания по работе:**

- 1) В диссертации и автореферате отсутствуют какие-либо сведения о внедрении результатов работы в промышленности, проектных организациях или в учебном процессе, а также о принятии их к внедрению. В разделе автореферата «Теоретическая и практическая значимость работы» перечислены лишь научные проекты и гранты, в рамках которых она выполнялась. Было бы полезно указать в каких конкретных областях автор предполагает использование своих результатов, так как возможность их практического использования очевидна.
- 2) В 3 главе диссертации получен целый ряд обобщающих зависимостей для расчета коэффициентов гидравлического сопротивления для различных

геометрических и режимных параметров. Текст главы труден для чтения и восприятия, тем более что в подписях к рисункам встречаются опечатки. На мой взгляд, было бы необходимо свести многочисленные обобщающие уравнения в одну таблицу с указанием соответствующих им значений параметров и типов шероховатости.

- 3) В диссертации отсутствует экономическая оценка эффекта от применения предлагаемых технических решений.
- 4) В тексте диссертации и автореферата встречаются опечатки, в том числе в нумерации глав и подразделов, в подрисуночных подписях.

Все указанные замечания носят рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку работы.

### **Заключение.**

В диссертационной работе в результате экспериментальных исследований получены расчетные зависимости и выработаны рекомендации по расчету гидравлического сопротивления и коэффициента теплоотдачи в прямых трубах с закруглой потока и искусственной шероховатостью различных типов в условиях однофазного и двухфазного течения.

В целом, по объему и научному уровню, актуальности и научной новизне полученных результатов, их практической ценности диссертационная работа Злобина А.В. «Теплоотдача и гидравлическое сопротивление труб с непрерывной шероховатостью стенок, в том числе со вставленной скрученной лентой» полностью соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842 Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, являясь научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки в области расчета теплогидравлических характеристик одно- и двухфазных потоков, имеющие существенное значение для усовершенствования действующего и создания нового теплообменного оборудования в двигателях и энергетических установках.

Автор диссертации Злобин Андрей Витальевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент,  
заведующий кафедрой  
«Оборудование пищевых  
производств» ФГБОУ ВО  
«Казанский национальный  
исследовательский  
технологический университет»,  
доктор технических наук,  
профессор



Николаев Андрей Николаевич

420015, РФ, Республика Татарстан,  
г. Казань, ул. К.Маркса, 68  
тел.сл. : (843)231-43-61,  
e-mail: andr\_nik\_nik@rambler.ru

9.11.2017 г.





## СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОПОНЕНТЕ

по диссертационной работе Злобина Андрея Витальевича на тему «Теплоотдача и гидравлическое сопротивление труб с непрерывной шероховатостью стенок, в том числе со вставленной скрученной лентой» на соискание

ученой степени кандидата технических наук по специальности

01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

№	Фамилия, Имя, Отчество	Ученая степень, ученое звание	Сведения о работе		Список основных публикаций по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (но не более 15 публикаций)
			Полное наименование организации, почтовый адрес (индекс, город, улица, дом), телефон, адрес электронной почты	Должность с указанием структурного подразделения	
1	2	3	4	5	6
1	Николаев Андрей Николаевич	Доктор технических наук, профессор	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»  420015, г.Казань, ул.К.Маркса, 68, (843) 238-56-94  office@kstu.ru	Заведующий кафедрой «Оборудование пищевых производств»	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Карпов А.С., Вахитов М.Р., Нуртдинов Н.М., Николаев А.Н. Теплообмен в каплях жидкости в многоступенчатых вихревых экономайзерах // Вестник технологического университета. – 2017. – Т.20. – №13. – С.56-57.</li> <li>2. Madyshev, I. N. Study of Fluid Dynamics of Mass-Transfer Apparatuses Having Stream-Bubble Contact Devices / I. N. Madyshev, O. S. Dmitrieva, A. V. Dmitriev, A. N. Nikolaev // Chemical and Petroleum Engineering. – 2016. – V. 52. – № 5. – P. 299-304.</li> <li>3. Мингалеева Г.Р., Николаев А.Н., Харьков В.В. Исследование массоотдачи в закрученной пленке жидкости в цилиндрическом канале // Вестник Казанского технологического университета, 2016. – Т.19. – №17. – С.54-56.</li> <li>4. Madyshev I.N., Dmitrieva O.S., Dmitriev A.V., Nikolaev A.N. Assessment of change in torque of stream-bubble contact mass transfer devices // Chemical and Petroleum Engineering. – 2015. – V.51 – № 5 – P. 383-387.</li> <li>5. Харьков В.В., Николаев А.Н. Расчет конвекционного аппарата с закрученным потоком теплоносителя для концентрирования соков // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология – 2015. – № 1. – С.94-97.</li> <li>6. Вахитов М.Р., Хакимова Е.Г., Толмачева А.В., Кузнецов М.Г., Николаев А.Н. Измельчение угля в конусных мельницах с крупномасштабной искусственной шероховатостью // Вестник Казанского технологического университета, 2015. – Т.18. – №20. – С.57-59.</li> <li>7. Мадышев И.Н., Дмитриева О.С., Николаев А.Н., Дмитриев А.В. Применение ректификационных аппаратов со струйно-барботажными контактными устройствами для увеличения энергоэффективности промышленных установок // Промышленная энергетика, 2015. – №8. –</li> </ol>

				<p>C.37-41.</p> <p>8. Николаев А.Н., Харьков В.В. Перепад статического давления в газоочистном оборудовании вихревого типа // Вестник Казанского технологического университета. 2015.– Т.18. – №18. – С.136-138.</p> <p>9. Dmitrieva O.S., Dmitriev A.V., Nikolaev A.N. Distribution of circulating water in the work area of a vortex chamber with disk atomizer for the purpose of increasing the efficiency of the cooling process // Chemical and Petroleum Engineering. – 2014. – V. 50. – № 3. – P. 169-175.</p> <p>10. Вахитов М.Р., Николаев А.Н. Рекуперация паров органических растворителей в аппаратах вихревого типа // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 24. – С. 185-186.</p> <p>11. Кузнецов М.Г., Козулина О.В., Ермакова Е.Ю., Коротков Ю.Ф., Николаев А.Н. Расчет теплоизоляции аппаратов для разделения и нагрева водонефтяной эмульсии // Вестник Казанского технологического университета, 2013. – №17. – С.231-232.</p> <p>12. Дмитриева О.С., Дмитриев А.В., Николаев А.Н. Определение расхода жидкости в градирнях вихревого типа с распылителями // Вестник Казанского технологического университета, 2013. – №12. – С.95-96.</p> <p>13. Дмитриева О.С., Дмитриев А.В., Николаев А.Н. Разработка теплообменного устройства для контакта газа и жидкости в вихревом потоке для систем оборотного водоснабжения // Вестник Казанского технологического университета, 2013. – №3. – С.63-65.</p> <p>14. Дмитриев А.В., Дмитриева О.С., Николаев А.Н. Определение характерных параметров вихревых камер с дисковым распылителем для охлаждения оборотной воды // Промышленная энергетика, 2013. – №8. – С.32-36.</p> <p>15. Дмитриева О.С., Дмитриев А.В., Николаев А.Н. Вихревая камера с дисковым распылителем для охлаждения оборотной воды промышленных предприятий // Экология и промышленность России, 2013. – Июнь. – С.16-18.</p>
--	--	--	--	--

Зав. кафедрой оборудования пищевых производств ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,  
доктор технических наук, профессор

9.11.2017 г.

Подпись *Николаев А.Н.*

удостоверяется.

Начальник ОКИД ФГБОУ ВО «КНИТУ»

О.А. Перельгина

«03» 11

2017 г.

Андрей Николаевич  
Николаев

