

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования



КГЭУ

«КАЗАНСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

ПРОРЕКТОР  
ПО НАУЧНОЙ РАБОТЕ

Красносельская ул., д. 51, Казань, 420066  
тел./факс (8-843) 519-43-55, 527-92-54  
E-mail: kgeu@kgeu.ru

07.11.2017 № 1005/413

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

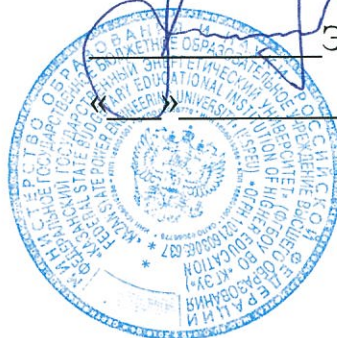
УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
ФГБОУ ВО «Казанского  
государственного энергетического  
университета»

к.т.н., доцент

Э.В. Шамсутдинов

2017 г.



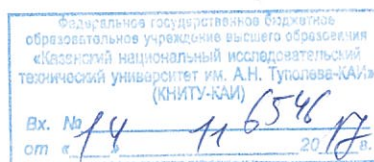
## ОТЗЫВ

### Ведущей организации 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».

#### 1. Актуальность темы диссертационной работы

Практический и научный интерес представляет интенсификация теплообмена при проектировании теплообменного оборудования с ограниченными весогабаритными характеристиками, имеющими высокую надежность при эксплуатации. Теплообменные аппараты с различными интенсификаторами могут выравнивать и снижать рабочие температуры стенок, предотвращая разрушение активной зоны тепловыделения в случае аварийных ситуаций, увеличивая надежность и безопасность работы. Одним из способов интенсификации теплообмена является применение шероховатых поверхностей. Использование шероховатости для интенсификации теплообмена целесообразно при течении в каналах, в пуч-



ках труб и внешнем обтекании тел. Сплошная шероховатость может существенно увеличить поверхность: в 2 раза и более по сравнению с гладкой.

Основная часть ранних работ была сориентирована на "естественную" шероховатость промышленных труб, которая является не прогнозируемой, поэтому в промышленности сегодня нашли широкое применение поверхности с искусственной прогнозируемой шероховатостью.

Искусственная шероховатость поверхности создается путем нарезки, штамповки, накатки и другими методами. Шероховатость может быть сплошная или дискретная. Интенсификация теплообмена посредством шероховатости происходит за счет более раннего перехода от ламинарного течения к турбулентному, турбулизации пристенного слоя жидкости и увеличения поверхности теплообмена. Турбулентные возмущения потока одновременно с улучшением теплообмена повышают гидравлическое сопротивление. Определяющее влияние на теплообмен и трение оказывают соотношение высоты шероховатости и толщины вязкого подслоя; а также форма бугорков выступов шероховатости. При анализе имеющихся в литературе данных установлено, что в настоящее время имеется множество публикаций по исследованиям теплообмена и гидродинамики в прямых шероховатых трубах с непрерывной искусственной шероховатостью, но практически отсутствуют экспериментальные данные совместного использования шероховатых стенок и закрутки потока. Несмотря на наличие множества формул для расчета гидравлического сопротивления и теплоотдачи в каналах с искусственной шероховатостью, этими данными не всегда можно воспользоваться для случаев, отличных от исследованных автором. Представляет практический интерес влияние формы шероховатости на гидравлическое сопротивление в канале. Весьма актуальными являются расчетные данные для коэффициента теплоотдачи закрученных потоков в каналах с искусственной шероховатостью, поскольку данный комбинированный вид интенсификации будет

эффективен в практическом применении, в особенности в испарителях различного назначения.

**Степень обоснованности научных положений.** Научные положения, выносимые на защиту, обоснованы и раскрыты в тексте диссертации и в опубликованных соискателем работах.

## **2. Общая характеристика работы**

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, и списка литературы. Объем диссертации составляет 172 страницы машинописного текста, включая 140 рисунков и 8 таблиц.

**Во введении** обоснована актуальность работы и ее цель, формулируются основные защищаемые положения, описывается научная новизна результатов.

**В первой главе** автор глубоко проанализировал современное состояние рассматриваемой проблемы и сформулировал задачи исследования. Выполнен литературный обзор и анализ результатов исследований по гидравлическому сопротивлению и теплоотдаче однофазных потоков, а также теплообмена в условиях пузырькового кипения в трубах с непрерывной искусственной шероховатостью стенок.

**Во второй главе** автор подробно изложил описание разработанного и созданного экспериментального стенда для исследования гидравлического сопротивления при течении воздушного потока в трубах с различной шероховатостью стенок, рабочего участка, системы измерений, методики проведения эксперимента, методики обработки экспериментальных данных, процедуры оценки неопределенности измерений. Проведены тестовые опыты по гидравлическому сопротивлению и теплоотдаче для проверки работоспособности экспериментальных установок и подтверждения достоверности получаемых результатов.

**В третьей главе** автором представлены результаты экспериментального исследования гидравлического сопротивления прямых

труб при наличии шероховатости различного профиля, а также в шероховатых трубах с закруткой потока. Представлены обобщенные данные по влиянию на трение числа Рейнольдса и относительной высоты шероховатости  $\bar{\Delta}$  для труб с искусственной шероховатостью треугольного, прямоугольного и скругленного профиля, а также зависимости для расчета гидравлического сопротивления в трубах с искусственной шероховатостью стенок треугольного профиля и закруткой потока.

**В четвертой главе** представлены результаты экспериментального исследования теплоотдачи при течении дистиллированной воды и хладагента R134a в прямых трубах с искусственной шероховатостью стенок и в шероховатых трубах со вставленными скрученными лентами в условиях вынужденной конвекции и пузырькового кипения. Для однофазных потоков представлены расчеты теплогидравлической эффективности и критериальные зависимости, обобщающие экспериментальные данные по теплоотдаче с данными интенсификаторами теплообмена.

**В заключении** изложены основные результаты и выводы выполненного исследования.

### **3. Степень разработанности темы исследования**

Исследования гидравлики и теплообмена в трубах с непрерывной искусственной шероховатостью стенок представлены в работах Никурадзе И., Теплова А.В., Альтшуля А.Д., Кармана Т., Шлихтинга Г., Керенского А.М., Селезнева А.А., Авдеевского В.С., Кошкина В.К., Адамова Г.А., Хоффа Л., Фрома К., Шиллера Л., Хаузена Х., Тоунеса Г., Миллионщикова М.Д., Ляхова В.К., Ибрагимова М.Х., Субботина В.И., Бобкова В.П., Сабелева Г.И., Таранова Г.С., Исаченко В.П., Агабабова С.Г., Галина Н.М., Кадера Б.А., Бузника В.М., Гортышова Ю.Ф., Олимпиева В.В., Тарасевича С.Э. и др. При анализе имеющихся в литературе данных, установлено, что в настоящее время имеется множество публикаций по исследованиям теплообмена и гидродинамики в прямых шероховатых

трубах с непрерывной искусственной шероховатостью для однофазных потоков, но практически отсутствуют экспериментальные данные для случая совместного использования шероховатых стенок и закрутки потока. Несмотря на наличие множества формул для расчета гидравлического сопротивления и теплоотдачи в каналах с искусственной шероховатостью, этими данными не всегда можно воспользоваться для случаев, отличных от исследованных. Представляет практический интерес влияние формы шероховатости на гидравлическое сопротивление в канале. Весьма актуальными являются расчетные данные для коэффициента теплоотдачи закрученных потоков в каналах с искусственной шероховатостью, поскольку ожидается, что данный комбинированный вид интенсификации будет эффективен в практическом применении, в особенности в теплообменных аппаратах, где имеет место кипение. Анализ литературы по теплообмену в шероховатых каналах для случая двухфазных потоков позволил сделать вывод, что на сегодняшний день экспериментальных данных недостаточно для выявления полной картины данного процесса.

#### **4. Научная новизна**

1) Получены обобщающие зависимости для расчета гидравлического сопротивления при ламинарном и турбулентном режимах течения однофазных потоков в прямых трубах и трубах со скрученной лентой при наличии искусственной шероховатости стенок различного профиля в широком диапазоне режимных и конструктивных параметров;

2) получены обобщающие зависимости для расчета теплоотдачи при тении однофазных потоков в прямых трубах и трубах со скрученной лентой при наличии искусственной шероховатости стенок в широком диапазоне режимных и конструктивных параметров;

3) описаны особенности развитого кипения фреона R134a в прямых трубах и трубах со скрученной лентой при наличии искусственной шероховатости стенок.

## **5. Теоретическая и практическая значимость работы**

Полученные обобщающие зависимости могут быть использованы на предприятиях при проведении тепловых и гидродинамических расчетов теплообменного оборудования с использованием преимуществ искусственной шероховатости и непрерывной закрутки потока, а также при осуществлении сравнительного анализа различных теплообменных аппаратов и испарителей с искусственной шероховатостью стенок и непрерывной закруткой потока. Выполненная работа также расширяет фундаментальные знания о процессах теплообмена и гидродинамики в шероховатых трубах в полях массовых сил.

Материалы могут быть использованы в учебном процессе и на предприятиях, занимающихся проектированием и созданием различных теплообменных аппаратов.

## **6. Методология и методы диссертационного исследования**

Для изучения влияния геометрических характеристик выступов шероховатости и степени закрутки потока использовались экспериментальные методы. В экспериментах реализовывался омический нагрев исследуемых металлических труб (ГОСТ Р 8.655-2009). Вынужденное течение в трубах реализовывалось на проливном водном стенде с аттестованными приборами измерений расходов (ГОСТ Р 50193.3-92), температуры (ГОСТ Р 8.565-2001 ГСИ) и давления (ГОСТ 22520-85).

## **7. Степень достоверности и апробация результатов**

Подтверждается проведением тестовых опытов и хорошим согласованием полученных результатов с результатами других авторов, использованием аттестованных приборов и калибровкой всех измерительных систем, выполнением процедуры тарировки и калибровки датчиков, использованием апробированных методов, оценкой неопределенности измерений, использованием компьютерных, аппаратных и программных средств для обработки данных и соответствием полученных

результатов физическим представлениям при однофазном и двухфазном течении теплоносителя.

#### **8. Соответствие паспорту специальности 01.04.14**

Содержание диссертационной работы соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.14. – «Теплофизика и теоретическая теплотехника» в части пункта 5 – «Экспериментальные и теоретические исследования однофазной, свободной и вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей, режимных и геометрических параметров теплопередающих поверхностей».

#### **9. Рекомендации по использованию результатов**

Результаты диссертационной работы имеют практическую значимость, так как могут быть использованы при проектировании и исследовании теплообменных аппаратов и других подобных устройств. Результаты исследований рекомендуется использовать на предприятиях энергетического и машиностроительного комплексов. Результаты диссертации также представляют интерес для проектных организаций, разрабатывающих теплообменное оборудование, а также высших учебных заведений, в которых изучают теплотехнику.

#### **10. Замечания по диссертационной работе:**

1. В цели исследования заявлено на «основе экспериментального исследования получение зависимостей и выработка рекомендаций для расчета теплогидравлических характеристик в прямых трубах и в трубах с непрерывной по длине закруткой с искусственной шероховатостью стенок при одно- и двухфазных течениях», однако в задачах про экспериментальное исследование теплообмена при кипении ничего не сказано.

2. Расчетные формулы по гидравлическому сопротивлению труб с непрерывной искусственной шероховатостью при течении однофазных потоков получены при больших скоростях воздушного потока. Не указаны

теплообменные аппараты, в которых применимо использование данных зависимостей.

3. Получен анализ теплогидравлической эффективности труб с непрерывной шероховатостью стенок, в том числе со вставленной скрученной лентой, для разных рабочих тел и линейных размеров, исследованных профилей, шероховатых выступов, т.е. экспериментальное исследование гидравлического сопротивления и теплоотдачи в трубах проводилась на разных рабочих участках при движении воздушного потока и дистиллированной воды. Таким образом, возможны сомнения в адекватности расчетных данных по теплогидравлической эффективности.

4. В выводах отмечено об эффективности использования непрерывной шероховатости в трубах при минимальной глубине ее нарезки. Необходимо было указать диапазон по относительной высоте выступов элементов шероховатости, поскольку теплообмен в некоторых исследованных трубах с минимальной глубиной нарезки метрической резьбы совпадает с уровнем теплообмена однофазных потоков в гладкой трубе.

5. Ввиду того, что рассматривается теплоотдача однофазного потока при течении нагретой дистиллированной воды, то немаловажным является оценка температурного расширения металла, которая скажется на истинных размерах элементов непрерывной шероховатости. Однако в работе этот момент не рассматривается.

## **11. Заключение по работе**

Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют значение для топливно-энергетического комплекса России, науки и практики. Выводы обоснованы. Работа соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Злобин Андрей Витальевич заслуживает присуждения ему ученой степени



кандидата технических наук по специальности 01.04.14 - «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на заседании кафедры ТОТ (Протокол №160 от «26» октября 2017 г.). На заседании присутствовало- 10 человек, в том, числе два доктора наук и четыре кандидата наук по специальности 01.04.14 -Теплофизика и теоретическая теплотехника, результаты открытого голосования «за» - 10, «против» - нет, «воздержалось» - нет.

Заведующий кафедрой «Теоретические основы теплотехники» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», доктор технических наук, доцент



А.В. Дмитриев

Профессор кафедры теоретических основ теплотехники ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», доктор физико-математических наук, профессор



Н.Д. Якимов

420066, Казань, ул. Красносельская, д.51,  
тел.: (843) 519-43-55, e-mail: tot\_kgeu@mail.ru

Сведения о лице, утвердившем отзыв ведущей организации на диссертацию Шамсутдинов Эмиль Васильевич,

кандидат технических наук,

проректор по научной работе

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», 420066, г. Казань, ул. Красносельская, (843) 519-43- 55, e-mail:

[kgeu@kgeu.ru](mailto:kgeu@kgeu.ru)



### СВЕДЕНИЯ О ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

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»

№	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
1	2	3	4
1	<p>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» 420066, г.Казань, ул.Красносельская, д.51, тел. (843) 519-43-55 e-mail: <a href="mailto:kgeu@kgeu.ru">kgeu@kgeu.ru</a> сайт: <a href="http://kgeu.ru">kgeu.ru</a></p>	<p>Дмитриев Андрей Владимирович, доцент, доктор технических наук, заведующий кафедрой теоретических основ теплотехники</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dmitriev, A. V. Rigidity of the Bearing Elements of the Contact Structures of a Mass-Transfer Apparatus / A. V. Dmitriev, I. A. Sabanaev, O. S. Dmitrieva // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2017. – V. 90. – № 3. – P. 715-720. DOI: 10.1007/s10891-017-1619-5</li> <li>2. Dmitrieva, O. S. Determination of the Heat and Mass Transfer Efficiency at the Contact Stage of a Jet-Film Facility / O. S. Dmitrieva, I. N. Madyshev, A. V. Dmitriev // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2017. – V. 90. – № 3. – P. 651-656. DOI: 10.1007/s10891-017-1612-z</li> <li>3. Dmitrieva, O. S. Evaluation of the cooling system calculation technique for oil-immersed transformers / O. S. Dmitrieva, G. R. Patrakova, A. V. Dmitriev // 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Saint Petersburg, Russia, 2017, pp. 1-4.</li> <li>4. Дмитриев, А. В. Определение средних коэффициентов теплоотдачи последовательно падающих капель в потоке газа / А. В. Дмитриев, Л. В. Круглов, О. С. Дмитриева // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20. – № 5. – С. 27-29.</li> <li>5. Дмитриев, А. В. Гидравлическое сопротивление струйно-пленочного контактного устройства / А. В. Дмитриев, Л. В. Круглов, О. С. Дмитриева // Промышленная энергетика. – 2017. – № 5. – С. 44-47.</li> <li>6. Дмитриев, А. В. Теплообмен при встречном обтекании рядов труб аппарата воздушного охлаждения / А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева // Вестник технологического университета. – 2017. –</li> </ol>

			<p>T. 20. – № 13. – С. 40-42.</p> <p>7. Dmitrieva, O. S. Calculation of the Average Velocity of the Liquid in the Stream-Film Contact Devices / O. S. Dmitrieva, A. V. Dmitriev, L. V. Kruglov // Procedia Engineering. – 2016. – V. 150. – P. 753-760. doi:10.1016/j.proeng.2016.07.101</p> <p>8. Dmitriev, A. V. Determination of the Mass-Transfer Coefficient in Liquid Phase in a Stream-Bubble Contact Device / A. V. Dmitriev, O. S. Dmitrieva, I. N. Madyshev // Thermal Engineering. – 2016. – V. 63. – № 9. – P. 674-677. DOI: 10.1134/S0040601516080036</p> <p>9. Dmitrieva, O. S. Cooling of oil-filled power equipment / O. S. Dmitrieva, A. V. Dmitriev // Advances in Energy and Environment Research : Proceedings of the International Conference on Advances in Energy and Environment Research (ICAEER2016), Guangzhou City, China, August 12-14, 2016. – 2017. – P. 335-338. DOI: 10.1201/9781315212876-62</p> <p>10. Dmitriev, A. V. Prospects for the Use of Additional Cooling System for the Oil-Immersed Transformers with Thermoelectric Transducers / A. V. Dmitriev, O. S. Dmitrieva, I. N. Madyshev // MATEC Web of Conferences . – 2017. – V. 95. – P. 15008. DOI:<a href="http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/20179515008">http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/20179515008</a> (2016 the 3<sup>rd</sup> International Conference on Mechatronics and Mechanical Engineering (ICMME 2016))</p>
--	--	--	--

Сведения подтверждаю:  
Проректор по научной работе,  
к.т.н., доцент

Э.В. Шамсутдинов

