



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский  
технологический университет»  
(ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

ПРОРЕКТОР  
ПО НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ИНТЕГРАЦИИ С  
ПРОИЗВОДСТВОМ

420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, www.kstu.ru.  
тел. 231-42-00, факс 238-56-94, office@kstu.ru  
ОКПО 02069639, ОГРН 1021602854965,  
ИНН/КПП 1655018804/165501001

02.09 2016 № 150-1462/6-2-1-4/11

ФГБОУ ВО «Казанский  
национальный исследовательский  
технический университет им.  
А.Н. Туполева-КАИ»  
Председателю диссертационного  
совета Д.212.079.02

Ю.Ф. Гортышову

420111, г. Казань, ул. К.Маркса,  
д.10

Уважаемый Юрий Федорович!

Направляю Вам отзыв на диссертационную работу Шишкина Андрея Владимировича «Теплоотдача при кипении хладагента R134A в каналах со вставками в виде оребренных скрученных лент», 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 5л. в 2-х экз.;

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

Проректор,  
д.т.н., профессор



И.А. Абдуллин





МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский  
технологический университет»  
(ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

ПРОРЕКТОР  
ПО НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ИНТЕГРАЦИИ С  
ПРОИЗВОДСТВОМ

420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, www.kstu.ru.  
тел. 231-42-00, факс 238-56-94, office@kstu.ru  
ОКПО 02069639, ОГРН 1021602854965,  
ИНН/КПП 1655018804/165501001

22.09.2016

№ 05-3488/1-64/90/11

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной деятельности и  
интеграции с производством

ФГБОУ ВО «Казанский  
национальный исследовательский  
технологический университет»

д.т.н., профессор

И.А. Абдуллин

«05» сентября 2016 г.



## ОТЗЫВ

### Ведущей организации на диссертационную работу

Шишкина Андрея Владимировича «Теплоотдача при кипении хладагента R134A в каналах со вставками в виде оребренных скрученных лент», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

#### 1. Актуальность темы диссертационной работы

Интерес к интенсификации теплообмена возник одновременно с решением задач проектирования теплообменных аппаратов с ограниченными весогабаритными характеристиками, имеющими высокую надежность при эксплуатации. Теплообменные аппараты с различными интенсификаторами могут выравнять и снижать рабочие температуры стенок, предотвращая разрушение активной зоны тепловыделения в случае аварийных ситуаций, увеличивая надежность и безопасность работы.

К одному из способов интенсификации теплообмена относится закрутка потока. Среди многообразия конструктивных элементов, позволяющих закручивать поток, широкое применение в использовании получили вставки в виде скрученных лент, т.к. они недороги в изготовлении и могут быть легко использованы для модернизации существующих кожухотрубных теплообменников. Использование скрученных лент позволяет обеспечивать безаварийное и эффективное охлаждение различных энергонапряженных элементов при высоких плотностях теплового потока, расширяя область применения в качестве



турбулизаторов закручивающих пристенные слои при однофазном течении теплоносителя, при течении двухфазных потоков обеспечивают увеличение коэффициента теплоотдачи, за счет закрутки потока происходит выравнивание температурных неоднородностей в азимутальном направлении. Закрутка потока при высоких паросодержаниях может способствовать увеличению области бескризисного теплообмена при кипении за счет сепарации жидкой фазы на поверхность. При кипении в каналах со вставленными скрученными лентами при высоких паросодержаниях возникают устойчивые шнуровидные течения, когда жидкая фаза движется в виде струи (шнура) по центральной части ленты, не являющейся активной теплообменной поверхностью. При кипении это может приводить к увеличению необходимой для полного испарения жидкости длины. Существующие геометрические модификации скрученных лент используются в теплообменном оборудовании при вынужденной конвекции теплоносителя и не решают проблему по устранению шнуровидных течений.

Представленная работа посвящена экспериментальному исследованию теплоотдачи при кипении хладагента R134a в каналах со вставленными скрученными лентами, имеющими ребра на своей поверхности.

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

**Структура, объем и основное содержание работы.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, и списка литературы. Объем диссертации составляет 122 страницы машинописного текста, включая 56 рисунков и 4 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 настоящего исследования. Выполнил критический анализ результатов исследований по теплоотдаче в условиях вынужденной конвекции и пузырькового кипения в каналах со вставками в виде гладких скрученных лент и скрученных лент модифицированной геометрии.

**Во второй главе** автор подробно изложил описание разработанного и созданного автоматизированного экспериментального стенда, рабочего участка, системы измерений, методики проведения эксперимента, методики обработки экспериментальных данных, процедуры оценки неопределенности измерений, проведенных тестовых опытов по

теплоотдаче для проверки работоспособности экспериментальной установки и подтверждения достоверности получаемых результатов.

**В третьей главе** автором представлены результаты экспериментального исследования теплоотдачи при течении хладагента R134a в каналах со вставленными скрученными гладкими и оребренными лентами в условиях вынужденной конвекции и пузырькового кипения с одновременной видеофиксацией режимов течений, реализуемых при данных условиях. Представлена критериальная зависимость, обобщающая экспериментальные данные по теплоотдаче при кипении хладагента.

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

## **2. Научная новизна**

1. Проведено экспериментальное исследование теплоотдачи при кипении хладагента R134a в каналах со вставками в виде гладких и оребренных скрученных лент с одновременной видеофиксацией режима течения на выходе из рабочего участка при числах Рейнольдса подсчитанного по скорости циркуляции жидкости  $Re_0=31000\div 85000$  и плотности теплового потока  $q=100\div 250$  кВт/м<sup>2</sup>.

2. Выявлено влияние безразмерных геометрических и режимных параметров на теплоотдачу при кипении хладагента R134a в каналах со вставками в виде оребренных скрученных лент.

3. На основе визуального наблюдения выявлены режимы течения реализуемые в условиях кипения хладагента R134 в каналах со вставками в виде оребренных скрученных лент.

4. Получена обобщающая зависимость для расчета коэффициента теплоотдачи при кипении хладагента R134a в каналах со вставками в виде оребренных скрученных лент.

5. Разработаны практические рекомендации по использованию интенсификаторов теплообмена в каналах со вставками в виде оребренных скрученных лент.

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

Полученные обобщающие зависимости для определения теплоотдачи при кипении хладагента R134a в каналах со вставками в виде оребренных скрученных лент могут быть использованы на предприятиях при проектировании нового эффективного теплообменного оборудования, так и для модернизации нового и уже существующего оборудования. Выполненная работа также расширяет фундаментальные знания о теплоотдаче и режимах течения при кипении в каналах со вставками в виде оребренных скрученных лент.

Материалы работы могут быть на предприятиях, занимающихся проектированием и изготовлением теплообменных аппаратов и энергетического оборудования.

#### **4. Достоверность полученных результатов**

Подтверждаются проведением тестовых опытов и хорошим согласованием полученных результатов с результатами других исследователей; использованием поверенных приборов и измерительной системы; выполнением процедур тарировки и калибровки датчиков; проведением процедуры оценки неопределенности измерений; использованием современных компьютерных, аппаратных и программных средств для обработки данных; соответствием полученных результатов физическим представлениям о процессах тепломассообмена в условиях одно- и двухфазного течения потока.

#### **5. Замечания по работе:**

1. В виду того, что рассматривается теплоотдача двухфазного потока, то немаловажным является влияние смачиваемости поверхности на исследуемые характеристики. Однако в работе этот момент не рассматривается.

2. Теоретические основы статических миксеров достаточно разработаны, было бы целесообразным сопоставление эффекта от использования скрученных лент с эффектом от использования статических миксеров типа «Kenics».

3. Расчетное паросодержание должно было быть экспериментально подтверждено в некоторых реперных точках. В диссертации и автореферате отсутствуют диаграммы фазового равновесия исследуемого хладагента, тогда как именно они являются базовыми при расчете паросодержания двухфазной системы в условиях экспериментального исследования.

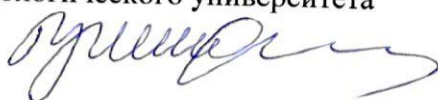
4. Важность предыдущего замечания определяется еще и тем, что исследуемый хладагент не был абсолютно чистым, что неминуемо должно предполагать корректирование расчетных данных.

#### **6. Заключение**

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 Шишкин Андрей Владимирович 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 (Протокол №01 от «02» сентября 2016 г.). На заседании присутствовало на кафедре ТОТ – 20 человек, в том, числе четыре доктора наук и десять кандидатов наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, результаты открытого голосования «за» - 20, «против» - нет, «воздержалось» - нет.

Заведующий кафедрой «Теоретических основ теплотехники» Казанского национального исследовательского технологического университета д.т.н., профессор



Гумеров Фарид Мухамедович

Профессор кафедры «Теоретических основ теплотехники» Казанского национального исследовательского технологического университета д.т.н., профессор



Сабирзянов Айдар Назимович

420015, Россия, г. Казань, ул. К.Маркса, д.68  
Тел. 231-42-11  
gum@kstu.ru



### СВЕДЕНИЯ О ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

по диссертационной работе Шишкина Андрея Владимировича «Теплоотдача при кипении хладагента R134A в каналах со вставками в виде оребренных скрученных лент», представленной 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	<p style="text-align: center;">Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», 420015, Россия, г. Казань, ул.К.Маркса, 68; Тел.: (843) 231-42-16; Факс: (843) 238-56-94; Эл. почта: office@kstu.ru, gum@kstu.ru; Сайт: <a href="http://www.kstu.ru">http://www.kstu.ru</a></p>	<p style="text-align: center;">Гумеров Фарид Мухамедович, д.т.н., профессор кафедры «Теоретических основ теплотехники»</p> <p style="text-align: center;">Сабирзянов Айдар Назимович, д.т.н., профессор кафедры «Теоретических основ теплотехники»</p>	<p>1. F.N. Shamsetdinov, Z.I. Zaripov, I.M. Abdulagatov, M.L. Huber, F.M. Gumerov, F.R. Gabitov, A.F. Kazakov, Experimental study of the thermal conductivity of ammonia + water refrigerant mixtures at temperatures from 278 K to 356 K and at pressures up to 20 MPa / International Journal of Refrigeration. 2013, т.36, в.4, с.1347-1368.</p> <p>2. Билалов Т.Р., Гумеров Ф.М. Процессы производства и регенерации катализаторов. Термодинамические основы процессов производства и регенерации палладиевых катализаторов с использованием сверхкритического диоксида углерода. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH &amp; Co. KG. Dudweiler Landstr. 99, 66123 Saarbrucken, Germany.2011, 153С.</p> <p>3. Ф.М. Гумеров, А.А. Сагдеев, Т.Р. Билалов, Р.Ф. Галлямов, А.Т. Галимова, К.А. Сагдеев, Ameer Abed Jaddoa, Ф.Р. Габитов, З.И. Зарипов, Bernard Le Neindre, Н.Н. Саримов, Х.Э. Харлампида, Г.И. Федоров, Б.Т. Бурганов, Р.С. Яруллин, И.А. Якушев, Катализаторы: регенерация с использованием сверхкритического флюидного СО<sub>2</sub>-экстракционного процесса / "Бриг" г . Казань. 2015, с.264.</p> <p>4. Usmanov R.A., Gumerov F.M., Gabitov F.R., Zaripov Z.I., Scshamsetdinov F.N., Abdulagatov I.M.</p>

			<p>"High yield biofuel production from vegetable oils with supercritical alcohols"// In: Liquid Fuels: Types, Properties and Production. Nova Science Publisher, Inc., New York, 2012, Chapter 3, P. 99-146.</p> <p>5. Ameer Abed Jaddoa, Timur R. Bilalov, Farid M. Gumerov, Farizan R.Gabitov, B. Le Neindre, Regeneration of Nickel-Molybdenum catalysts DN-3531 and Criterion 514 used in kerosene and gas oil hydrotreating by supercritical carbon dioxide extraction / International Journal of Mass Spectrometry. 2015, т.3, в.3, с.37-46.</p> <p>6. Амирханов Д.Г., Гумеров Ф.М., Сагдеев А.А., Галимова А.Т. Растворимость веществ в сверхкритических флюидных средах. Казань. Изд. «Отечество». 2014. 264 С.</p> <p>7. А.В. Радаев, И.Д. Закиев, А.А. Давлетшин, Р.Р. Галимзянов, А.А. Мухамадиев, А.Н. Сабирзянов, Р.Л. Рахимов, Модель нестационарной двухфазной двухкомпонентной фильтрации системы нефть – вода и нефть – сверхкритический флюид в однородной пористой среде / Нефтяное хозяйство. 2016, в.1, с.2-4.</p>
--	--	--	---

Сведения подтверждаю:  
Проректор по научной деятельности  
и интеграции с производством  
д.т.н., профессор



Абдуллин И.А.