



КГЭУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и коммерциализации

ФГБОУ ВО «Казанский  
государственный энергетический  
университет»

Ившин И.В.

2022 г.



**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования

«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Диссертация «Оптимальные теплогидравлические характеристики поверхностных интенсификаторов теплообмена» выполнена в ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» на кафедре «Автоматизация технологических процессов и производств».

В период подготовки диссертации соискатель Шакиров Руслан Айварович обучался в заочной аспирантуре Казанского государственного энергетического университета по направлению подготовки 03.06.01 – «Физика и астрономия», направленность «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

В 2015 г. окончил очный специалитет Альметьевского государственного нефтяного института по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств».

С 2017 г. заочно обучается в аспирантуре Казанского государственного энергетического университета по направлению подготовки 03.06.01 – «Физика и астрономия», направленность «Теплофизика и теоретическая теплотехника». Справка об обучении выдана в 2022 г. ФГБОУ ВО «КГЭУ».

Научный руководитель – Гильфанов Камиль Хабибович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

**Оценка выполненной соискателем работы.** По актуальности поставленных задач, методическому и научному уровню исследований, их

новизне и практической значимости диссертационная работа Шакирова Руслана Айваровича является законченной научно-квалификационной работой, которая отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

**Личное участие соискателя в получении результатов.** Личный вклад соискателя состоит в постановке задач исследований, реализации основных этапов работы, разработке метода исследования однофазной вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей, режимных и геометрических характеристик поверхностных теплообменных устройств с интенсификаторами различной формы и способа интенсификации на основе интеллектуального управления режимными характеристиками теплообменного оборудования, а также в выполнении значительной части теоретических исследований и практической реализации предложенного способа интенсификации, обработке и анализе полученных результатов исследования, подготовке публикаций по тематике научного исследования и трёх свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

**Достоверность приведенных результатов и выводов** подтверждается использованием апробированных методов компьютерного и математического моделирования. Для подтверждения полученных данных предложенным методом исследования в среде искусственных нейронных сетей произведено сравнение полученных результатов с фактическими значениями экспериментальных исследований.

**Научная новизна проведенных исследований** состоит в следующем:

1. Впервые разработан метод исследования однофазной вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей, режимных и геометрических характеристик трубчатых и пластинчатых теплообменных устройств с поверхностными интенсификаторами различной формы, который позволяет работать с параметрами за пределами диапазонов экспериментальных исследований.

2. Разработан способ интенсификации теплообмена на основе интеллектуального управления режимными характеристиками теплообменного оборудования.

3. Впервые разработана методика НС-моделирования энергоэффективности трубчатых и пластинчатых теплообменных устройств с поверхностными интенсификаторами теплообмена в виде сферических, V-образных, эллиптических, цилиндрических и подковообразных выемок, а также полусферических, кольцевых и спиральных выступов и проволоочных вставок.

4. Сформирована база данных по характеристикам пассивных поверхностных интенсификаторов теплообмена с учетом конкретных теплофизических и гидромеханических условий экспериментальных исследований.

5. Произведено обучение ИНС и тестирование выборки по относительным коэффициентам теплообмена, гидравлического сопротивления и теплогидравлической эффективности при поверхностной интенсификации



теплообмена, что впервые позволило установить характерные логические взаимосвязи между режимными и геометрическими параметрами трубчатых и пластинчатых теплообменных устройств.

6. Произведена оптимизация интенсифицированной поверхности теплообменного оборудования по тепловым и гидравлическим критериям.

7. Впервые произведено обобщение результатов экспериментальных исследований поверхностной интенсификации теплообмена.

**Практическая значимость** работы обуславливается разработкой способа интенсификации теплообмена на основе интеллектуального управления режимными характеристиками теплообменного оборудования, а также разработкой комплекса прикладных программ, реализующих предложенный метод исследования однофазной вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей, режимных и геометрических параметров трубчатых и пластинчатых теплообменных устройств с поверхностными интенсификаторами различной формы. Полученные результаты позволяют проектировать энергоэффективные теплообменные аппараты, отличающиеся уменьшенными массогабаритными параметрами. Разработанный способ интенсификации используется при охлаждении природного газа в АВО газа и позволяет обеспечить энергоэффективный теплообмен между охлаждающим воздухом и компримированным природным газом на выходе компрессорной станции.

#### **Ценность научных работ соискателя**

В публикациях Шакирова Руслана Айваровича отражены основные результаты исследования, содержатся все вышеуказанные положения, обладающие научной новизной, теоретической и практической значимостью.

По материалам диссертации опубликовано 13 публикаций, из которых: 2 в рецензируемых журналах из перечня ВАК МОН РФ, 3 зарегистрированы в базе данных Scopus/Web of Science, 8 в журналах, зарегистрированных в РИНЦ. В Федеральной службе по интеллектуальной собственности (Роспатент) зарегистрированы 3 программы для ЭВМ.

### **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

#### **Научные статьи, опубликованные в рецензируемых журналах из перечня ВАК МОН РФ**

1. Гильфанов К.Х., Шакиров Р.А. Нейросетевое моделирование теплообменных характеристик при поверхностной интенсификации теплообменного оборудования /Вестник КГТУ, Казань:, КНИТУ им. А.Н. Туполева, 2020, Том 76, № 4. - С. 5-11

2. Гильфанов К.Х., Шакиров Р.А. Нейросетевое моделирование теплогидравлической эффективности перспективных поверхностных интенсификаторов теплообмена /Изв. Вузов «Авиационная техника, Казань:, КНИТУ им. А.Н. Туполева, 2021, № 1. - С. 57-65

#### **Научные статьи, опубликованные в базе данных Scopus/Web of Science**



1. K.K. Gilfanov, R.A. Shakirov. Intellectual modeling of surface heat-exchange enhancer based on artificial neural networks // International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems 2019 (SES-2019) Web of Conf., 124 (25 October 2019).

2. K Kh Gilfanov, R A Shakirov. Neural network modeling of surface heat transfer intensifiers in the form of segment recesses / International Scientific and Practical Conference: Water Power Energy Forum 2018. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 288 (2019) 012087.

3. K.Kh. Gil'fanov, R.A. Shakirov. Neural network modeling of thermal-hydraulic efficiency of promising surface heat transfer intensifiers, Russian Aeronautics, Volume 64, pp 61-70.

#### **Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ**

1. Шакиров Р.А., Гильфанов К.Х., Свидетельство о государственной регистрации №2022615393 НС-моделирование тепловой, гидравлической и теплогидравлической эффективности при поверхностной интенсификации теплообмена. Дата государственной регистрации 31.03.2022 г.

2. Шакиров Р.А., Гильфанов К.Х., Свидетельство о государственной регистрации №2022615175 НС-моделирование режимных и геометрических характеристик поверхностных интенсификаторов теплообмена. Дата государственной регистрации 30.03.2022 г.

3. Шакиров Р.А., Гильфанов К.Х., Свидетельство о государственной регистрации №2022615056 Оптимизация поверхностной интенсификации теплообмена в среде ИНС. Дата государственной регистрации 29.03.2022 г.

#### **Статьи и материалы конференций**

1. Гильфанов К.Х., Шакиров Р.А., Нейросетевая модель расчета геометрических параметров поверхностных интенсификаторов теплообмена/Материалы Международного молодежного научного форума «Ломоносов - 2020» [Электронный ресурс] / Отв.ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. – М: МАКС Пресс, 2020.

2. Гильфанов К.Х., Шакиров Р.А., НС-моделирование поверхностной интенсификации теплообменного оборудования/сборник трудов Международной научной конференции Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-33/ Т. 12, Ч.1, С 81-84.

3. Гильфанов К.Х., Шакиров Р.А., НС-моделирование поверхностных интенсификаторов теплообмена. Материалы III Международной научно-практической конференции молодых ученых «Энергия молодежи для нефтегазовой индустрии», 2018, АГНИ, С. 373-377.

4. Гильфанов К.Х., Шакиров Р.А., Нейросетевое моделирование поверхностных интенсификаторов теплообмена. Материалы Международной научно-практической конференции «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли», 2018. С. 527-531.

5. Гильфанов К.Х., Шакиров Р.А., НС-моделирование поверхностных интенсификаторов теплообмена в виде кольцевых выступов XXIV Туполевские чтения: Международная молодёжная научная конференция, 7–8 ноября 2019 года: Материалы конференции. Сборник докладов. – В 6 т.; Т. 2. – Казань: изд-

во ИП Сагиева А.Р., 2019. – 302-307 с.

6. Гильфанов К.Х., Шакиров Р.А., Гайнуллин Р.Н. Нейросетевое моделирование характеристик дискретно-шероховатых поверхностей теплообмена в виде лунок. Материалы XIV Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения». В 3-х томах. Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. 2019. Изд-во: КГЭУ (Казань) С. 251-258.

7. Гильфанов К.Х., Шакиров Р.А., Интенсификация теплообменного оборудования инновационными методами интеллектуального моделирования. Приборостроение и автоматизированный электропривод в ТЭК и ЖКХ. Материалы VI Национальной НПК, в 2 т. Казань, 2020. С. 127-129.

### Специальность, которой соответствует диссертация

Работа соответствует паспорту научной специальности 01.04.14 - «Теплофизика и теоретическая теплотехника»: п. 5: «Экспериментальные и теоретические исследования однофазной, свободной и вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей, режимных и геометрических параметров теплопередающих поверхностей»; п. 9: «Разработка научных основ и создание методов интенсификации процессов тепло- и массообмена и тепловой защиты».

Диссертация Шакирова Р.А. является научно-квалификационной работой, отвечает требованиям ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям и совете Д 212.082.02.

Диссертация «Оптимальные теплогидравлические характеристики поверхностных интенсификаторов теплообмена» Шакирова Руслана Айваровича **рекомендуется к защите** на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Заключение принято на заседании кафедры «Автоматизации технологических процессов и производств» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

Присутствовало на заседании 9 чел.

Результаты голосования: «за» - 9 чел., «против» - нет, «воздержались» - нет, протокол № 4 от «17» мая 2022 г.

Заведующий кафедрой  
«Автоматизация технологических процессов  
и производств» ФГБОУ ВО «Казанский  
государственный энергетический университет»,  
кандидат технических наук, доцент

«17» 05 2022 г.

420066, г. Казань,

ул. Красносельская, д. 51, В-412

Тел.: +7 (843) 519-42-61

e-mail: [atpp\\_kgeu@mail.ru](mailto:atpp_kgeu@mail.ru)

Плотников Владимир  
Витальевич

