

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертацию **Шакирова Руслана Айваровича** на тему «Оптимальные теплогидравлические характеристики поверхностных интенсификаторов теплообмена», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

### **Актуальность темы исследования**

Диссертационная работа Шакирова Руслана Айваровича посвящена вопросам повышения энергоэффективности поверхностных теплообменных устройств, в частности теплообменного оборудования с трубчатыми и пластинчатыми теплообменными поверхностями с пассивными интенсификаторами различной формы. На основе выполненного анализа научно-технической информации, связанной с экспериментальными исследованиями поверхностной интенсификации теплообмена, автором сформирована обширная база данных, включающая в себя режимные и геометрические характеристики поверхностных интенсификаторов теплообмена, которые оказывают значимое влияние на тепловую эффективность, гидравлическое сопротивление и теплогидравлическую эффективность теплообменного оборудования.

Автор ставит перед собой целью посредством получения обобщающих характеристик по результатам экспериментальных исследований различных авторов разработать метод исследования однофазной вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей, режимных и геометрических характеристик трубчатых и пластинчатых теплообменных устройств с пассивными интенсификаторами в виде сферических, V-образных, эллиптических, цилиндрических и подковообразных выемок, полусферических, кольцевых и спиральных выступов.

Тема диссертационной работы является актуальной и направлена на повышение энергоэффективности поверхностных теплообменных устройств путём выявления обобщающих характеристик по результатам экспериментальных исследований в данной предметной области, которые позволяют установить оптимальные режимные и геометрические характеристики поверхностных интенсификаторов теплообмена.

### **Оценка содержания диссертации**

Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 184 страницах машинописного текста, содержит 85 рисунков, 28 таблиц, 3 приложения, список литературы из 170 источников.

Во введении обоснована актуальность проблемы исследования, проведён анализ степени разработанности темы, определены объект и предмет исследования, цели исследования, сформулированы задачи и методы их решения, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведены результаты обзора научной литературы по современному состоянию численных и экспериментальных исследований поверхностной интенсификации теплообмена. Для каждого типа поверхностных интенсификаторов обзор выполнен индивидуально.

Во второй главе описаны этапы разработки, включая методики и алгоритмы, реализующие метод исследования однофазной вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей, режимных и геометрических характеристик поверхностных интенсификаторов теплообмена. Для практической реализации предложенного метода исследования создано оригинальное программное обеспечение и представлено описание его функционирования.

Третья глава посвящена анализу согласования полученных результатов исследования предложенным методом с результатами экспериментальных исследований по тепловой, гидравлической и теплогидравлической эффективности, а также по оптимальным режимным и геометрическим характеристикам поверхностных интенсификаторов теплообмена. Показано, что результаты исследования предложенным методом удовлетворительно согласуются с результатами экспериментальных исследований.

В четвёртой главе приведены результаты исследования энергоэффективности трубчатых и пластинчатых теплообменных устройств, установлены оптимальные геометрические характеристики поверхностных интенсификаторов теплообмена, произведено описание выявленных взаимосвязей между режимными и геометрическими характеристиками наиболее эффективных пассивных интенсификаторов теплообмена. По результатам исследования разработан и предложен способ интенсификации теплообмена на основе интеллектуального управления режимными характеристиками теплообменного оборудования. Представлена практическая реализация способа на примере интенсификации устройства охлаждения природного газа.

В приложениях представлены полученные свидетельства о государственной регистрации оригинальных программ для ЭВМ, справка об использовании результатов диссертационной работы в ООО «Газпром трансгаз Чайковский» и оптимальные характеристики поверхностных интенсификаторов теплообмена.

В заключении автор формулирует основные выводы по работе и указывает их теоретическое значение и практическую ценность. Выводы работы полностью соответствуют поставленным задачам.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

#### **Оценка научной новизны**

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

– разработан метод исследования однофазной вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей, режимных и геометрических характеристик трубчатых и пластинчатых теплообменных устройств с пассивными интенсификаторами различной формы;

- установлены обобщающие характеристики поверхностной интенсификации теплообмена в виде нейросетевой модели в диапазоне и за пределами диапазонов экспериментальных исследований;
- получены оптимальные геометрические характеристики поверхностных интенсификаторов теплообмена в виде сферических, V-образных, эллиптических, цилиндрических и подковообразных выемок, полусферических, кольцевых и спиральных выступов;
- на основе полученных результатов исследования автором предложен способ интенсификации теплообмена на основе интеллектуального управления режимными характеристиками теплообменного оборудования;
- сформирована база знаний по характеристикам пассивных поверхностных интенсификаторов теплообмена с учётом конкретных теплофизических и гидромеханических условий экспериментальных исследований.

### **Теоретическая и практическая значимость полученных результатов**

Результаты, полученные в диссертационной работе, позволяют обеспечить теплогидравлическую эффективность трубчатых и пластинчатых теплообменных устройств, применяемых в различных отраслях промышленности. Разработанный метод исследования позволяет установить оптимальные режимные и геометрические характеристики поверхностных интенсификаторов теплообмена при проектировании энергоэффективных теплообменных поверхностей. Предложенный способ интенсификации теплообмена на основе интеллектуального управления режимными характеристиками позволяет повысить энергетическую эффективность эксплуатируемого теплообменного оборудования.

Разработан комплекс прикладного программного обеспечения, включающий в себя нейросетевое моделирование тепловой, гидравлической и теплогидравлической эффективности, режимных и геометрических характеристик поверхностных интенсификаторов теплообмена, а также оптимизации поверхностной интенсификации теплообмена в среде искусственных нейронных сетей (Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ №2022615393, №2022615175, №2022615056).

### **Степень достоверности полученных результатов**

Степень достоверности полученных результатов подтверждается верификацией полученных данных с результатами экспериментальных исследований при одинаковых тепловых и гидромеханических условиях поверхностной интенсификации теплообмена, а также использованием апробированных методов математического моделирования, сравнением результатов нейросетевого моделирования с фактическими значениями экспериментальных исследований.

### **Замечания по диссертации**

1. Библиография к обзору в основном (за исключением 2 источников) имеет 5-ти летнюю и более давность, не представлены современные зарубежные разработки, в частности в области искусственных нейронных сетей.

2. В диссертационной работе используется термин погрешность измерения (разделы 2.2, 2.3.2, 2.4.4, 2.5, 2.6, 3.2.2, 3.2.3 и 3.4), рекомендуется использовать термин «неопределённость» согласно ГОСТ Р 54500.3-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения.

3. В разделе 4.6 определены основные факторы, влияющие на температуру природного газа на выходе теплообменного устройства. Учитывая, что установление характерных взаимосвязей между геометрическими характеристиками поверхностных интенсификаторов теплообмена производится на этапе обучения искусственной нейронной сети, не ясно каким образом учитывается термическое сопротивление, массовый расход, температура охлаждающего воздуха и другие факторы при реализации предложенного способа интенсификации теплообмена.

4. При формировании базы знаний по результатам исследований поверхностной интенсификации теплообмена не учитывались результаты численных исследований.

5. Не указаны диапазоны применимости или степень неопределённости разработанной нейросетевой модели поверхностной интенсификации теплообмена для обобщающих характеристик за пределами диапазонов экспериментальных исследований.

Указанные замечания не повлияли на положительную оценку работы в целом.

### **Заключение**

Диссертационная работа Шакирова Руслана Айваровича на тему «Оптимальные теплогидравлические характеристики поверхностных интенсификаторов теплообмена» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи повышения энергоэффективности поверхностных теплообменных устройств с пассивными интенсификаторами теплообмена различной формы, установления обобщающих характеристик поверхностной интенсификации теплообмена, разработка метода исследования однофазной вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей, режимных и геометрических характеристик поверхностных интенсификаторов, который позволяет работать за пределами диапазонов экспериментальных исследований, что имеет важное фундаментальное и прикладное значение для развития науки об интенсификации конвективного теплообмена.

Диссертационная работа Р.А. Шакирова соответствует паспорту специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника» по формуле специальности: исследования по процессам переноса тепла и массы

в сплошных средах; имеющие целью обоснование методов расчета термодинамических и переносных свойств в различном агрегатном состоянии, выявление механизмов переноса массы, импульса и энергии при конвекции; обоснование и проверка методов интенсификации тепло- и массообмена и тепловой защиты. По областям исследований: п. 5: «Экспериментальные и теоретические исследования однофазной, свободной и вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей, режимных и геометрических параметров теплопередающих поверхностей» - установление геометрических и теплофизических факторов, действующих на тепловые и гидромеханические характеристики поверхностных пассивных интенсификаторов теплообмена, разработка метода исследования, проведение фазификации объекта исследования; п. 9: «Разработка научных основ и создание методов интенсификации процессов тепло- и массообмена и тепловой защиты» - разработка компьютерной модели оптимальных поверхностей в целом и для каждого типа поверхностных интенсификаторов, разработка способа интенсификации теплообмена на основе интеллектуального управления режимными характеристиками теплообменного устройства.

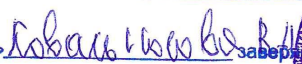
Работа отвечает требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор Шакиров Руслан Айварович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

заведующий кафедрой  
«Тепловая и топливная энергетика»  
ФГБОУ ВО "Ульяновский  
государственный технический  
университет", доктор технических  
наук, доцент

Ковальногов  
Владислав  
Николаевич

26.08.2022

Сведения об организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ульяновский государственный технический университет", 432027, Ульяновская область, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32  
тел.: +7 (8422) 77-81-06  
e-mail: kvn@ulstu.ru

Личную подпись  заверяю  
Начальник управления кадрового обеспечения  
