



**ВТИ**

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
"ВСЕРОССИЙСКИЙ ДВАЖДЫ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ"  
(ОАО "ВТИ")

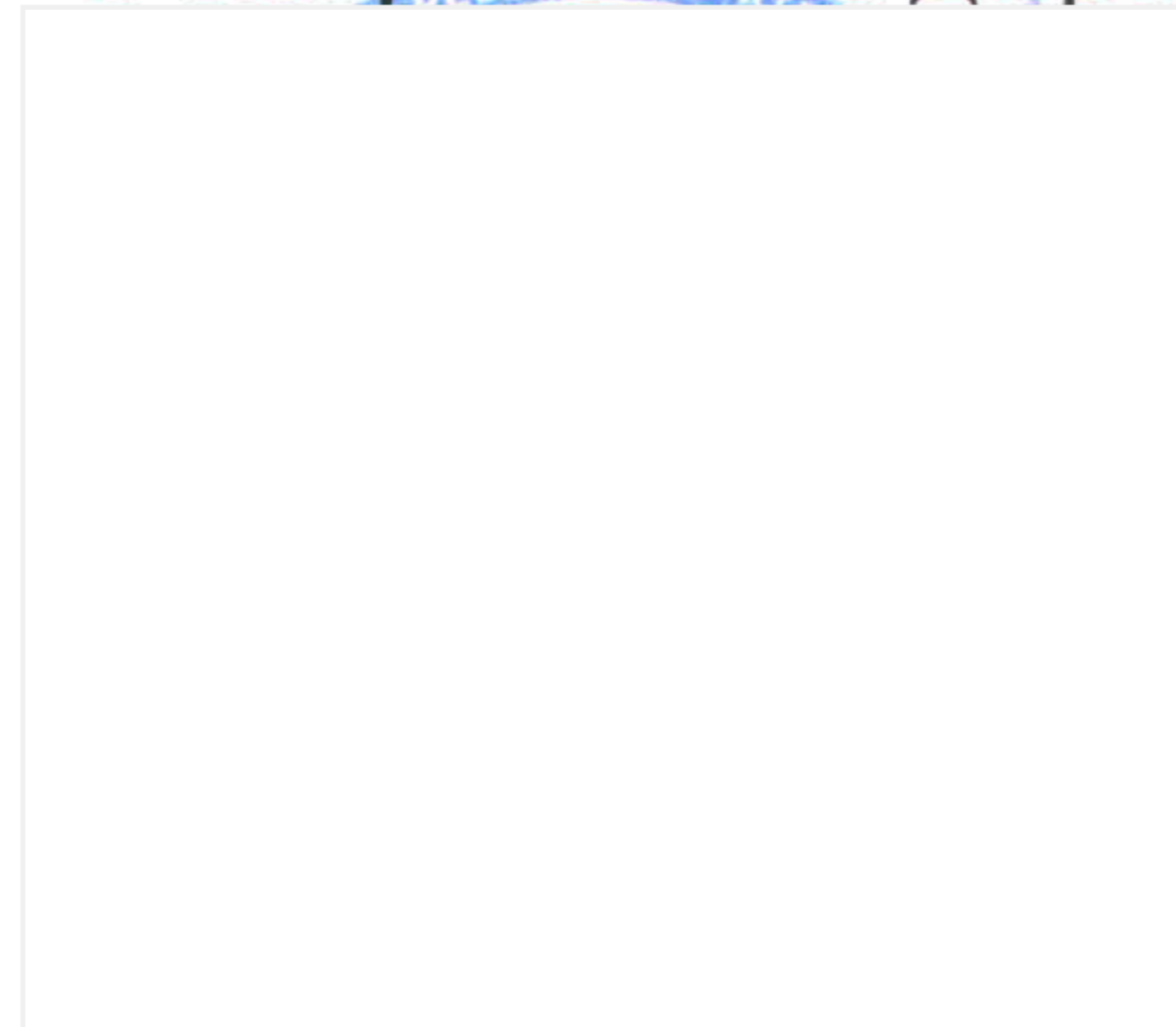


ИНН 7725054856, КПП 772501001, ОГРН 1027700158485

Российская Федерация, 115280  
г. Москва, ул. Автозаводская, д. 14  
Телефон: +7 (495) 137-77-70  
vti@vti.ru, <http://www.vti.ru>

**УТВЕРЖДАЮ:**

Генеральный директор ОАО «ВТИ»



О.А. Барсуков

2019 г.

### **ОТЗЫВ**

ведущей организации на диссертационную работу  
Ануфриева Игоря Сергеевича «**Экспериментальное исследование процессов при сжигании жидких углеводородов в горелочных устройствах с подачей перегретого водяного пара**», представленную  
на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности  
01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

#### **Актуальность темы диссертационной работы**

Задачи повышения эффективности использования энергоресурсов, а также расширения топливно-сырьевой базы за счет вовлечения в топливный баланс низкосортных топлив имеют принципиальное значение для современной теплоэнергетики. В то же время особую актуальность приобретает проблема утилизации накопленных на промышленных предприятиях огромных количеств жидких углеводородных отходов: отработанные моторные и трансмиссионные масла, смазочные жидкости, нефтяные шламы, отходы нефтедобычи и нефтепереработки. Технологии утилизации этих доступных энергоносителей с производством тепловой энергии, наряду с высокими теплотехническими показателями, должны обеспечивать экологическую безопасность, в первую очередь – низкий уровень выбросов  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}$ . Известные технологии сжигания жидкого топлива не всегда обеспечивают высокую полноту сгорания и соответствие экологическим нормам при использовании низкосортных топлив, которые плохо воспламеняются,

образуют значительное количество сажи. Для их использования необходимы специальные конструкции горелочных устройств, обеспечивающие стабильность горения и высокую полноту сгорания топлива без нарушения нормативов по вредным выбросам. Решение этой проблемы важно как с точки зрения улучшения экологической ситуации, так и в целях расширения топливно-сырьевой базы энергетики за счет использования некондиционного жидкого углеводородного топлива (в первую очередь, для обеспечения автономного теплоснабжения, а также для розжига и «подсветки» пылеугольных котлов ТЭС и т.д.).

### **Общая характеристика работы**

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы и пяти приложений. Работа содержит 254 страниц, 70 рисунков и 34 таблицы. Список литературы содержит 201 источник, из них 31 – публикации автора по теме диссертационной работы.

Работа выполнена на кафедре тепловых электрических станций факультета энергетики Новосибирского государственного технического университета.

### **Методология и методы исследования**

В ходе выполнения работ применены методы экспериментального исследования: методы измерения концентрации и дисперсного состава частиц с использованием диффузионного спектрометра аэрозолей; просвечивающая электронная микроскопия – для определения морфологии сажевых частиц; метод цифровой трассерной визуализации (particle image velocimetry, PIV) – для диагностики структуры потоков; метод теневой фотографии (shadow photography, SP) – для анализа структуры и дисперсного состава газочапельных потоков; интерферометрический метод измерения размеров капель (interferometric particle imaging, IPI); particle tracking velocimetry (PTV) – для измерения скорости капель; методы калориметрии – для измерения

тепловыделения при сжигании топлива; методы газового анализа продуктов сгорания; термопарные и оптические методы измерения температуры пламени.

### **Научная новизна**

Разработанные оригинальные перспективные горелочные устройства основываются на новых технических решениях, позволяющих за счет взаимодействия топлива с высокоскоростной струей перегретого водяного пара обеспечить создание мелкодисперсного двухфазного потока, интенсивный межфазный обмен, устойчивое воспламенение и полное выгорание топлива при низком производстве токсичных продуктов.

Научная новизна работы обусловлена как новизной конкретного объекта исследования (способ сжигания топлива – Патент РФ 2219435 (2003), способ диспергирования топлива – Патент РФ 2450207 (2012) и разработанные оригинальные горелочные устройства для их реализации – Патенты РФ 2684300 (2019), 2647172 (2018)), так и новизной результатов, полученных с применением передовых экспериментальных методов, создающих основу для развития нового направления исследований в рамках теплоэнергетики и опубликованных в высокорейтинговых рецензируемых журналах.

Впервые получены экспериментальные данные о характеристиках газокапельного потока при распылении жидких углеводородов струей перегретого водяного пара. Установлено, что режимные параметры (расход и температура газа, соотношение расходов газа и топлива) в рабочем диапазоне слабо влияют на дисперсный состав, преимущественный размер идентифицированных капель составляет 10-20 мкм.

Впервые экспериментально найдены зависимости основных теплотехнических и экологических показателей от параметров пара (температуры и расхода пара) при сжигании в горелочном устройстве жидких углеводородов с распылением струей перегретого водяного пара. Полнота сгорания топлива в режимах с подачей пара достигает 98%. Концентрации СО и NO<sub>x</sub> удовлетворяет 3 классу по EN 267, показатели по NO<sub>x</sub> в полтора раза

ниже нормативного уровня. Показано, что по сравнению с технологией сжигания с подачей струи нагретого воздуха технология паровой газификации позволяет на 30% снизить производство оксидов азота при высокой полноте сгорания топлива.

### **Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации**

Достоверность полученных результатов экспериментальных исследований обеспечена: использованием высокоточных производительных измерительных систем, основанных на передовых бесконтактных методах диагностики потоков, поверенных контрольно-измерительных приборов и оборудования, аттестованных методик при исследовании газодинамических, тепловых и экологических характеристик; повторяемостью и согласованностью результатов измерений, проведенных в разное время; статистической обработкой результатов измерений.

Основные результаты диссертационной работы докладывались на 15 российских и международных научно-технических конференциях, опубликованы в ведущих российских и международных научных журналах.

Разработанные горелочные устройства, представленные на выставках «Hi-Tech» (Санкт-Петербург, 2015 г. и 2018 г.), отмечены дипломами в номинации «Лучший инновационный проект в области: экология, рациональное природопользование, переработка отходов».

Результаты исследований отмечены рядом премий и наград. О высокой оценке результатов работы Ануфриева И.С. свидетельствует присуждение ему Международной молодежной премии «Энергия молодости» (2014 г., НП «Глобальная энергия»). В 2016 году он удостоен Премии мэрии города Новосибирска в сфере науки и инноваций в номинации «Лучший молодой исследователь в организациях науки». Трижды являлся получателем стипендии Президента РФ для молодых ученых.

Исследования, выполненные в рамках диссертационной работы, получили поддержку в форме многочисленных грантов (РНФ, РФФИ и др.), в том числе – под руководством Ануфриева И.С.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Теоретическая значимость работы определяется важностью полученных результатов для развития таких отраслей знания, как теплофизика и механика многофазных реагирующих сред. Полученные результаты вносят вклад в развитие представлений о закономерностях физико-химических процессов при сжигании жидких углеводородов с подачей перегретого водяного пара и в создание научных основ разработки перспективных теплоэнергетических технологий.

Полученные результаты обладают высокой практической значимостью и потенциалом масштабного использования в теплоэнергетике и энергомашиностроении. Особая социальная важность результатов связана с перспективой их применения для решения проблем безопасной и эффективной утилизации отходов добычи, переработки и использования жидких углеводородов, представляющих большую экологическую угрозу.

Практическая значимость полученных результатов подтверждается патентами РФ на изобретения «Горелочное устройство»: 2684300 (2019 г.), 2678150 (2019 г.), 2647172 (2018 г.), 2579298 (2016 г.), 2523591 (2014 г.) и на полезную модель 82520 (2018).

Результаты работы внедрены:

- в учебный процесс на базе Новосибирского государственного технического университета, используются для проведения практических занятий по курсу «Физика горения» на кафедре тепловых электрических станций факультета энергетики;

- инжиниринговым предприятием ООО «ЗиО-КОТЭС» (г. Новосибирск), которое использует полученные экспериментальные данные при CFD-моделировании процессов горения жидких топлив на этапе верификации

математических моделей, разрабатываемых для оценки экологических характеристик и эффективности сжигания жидких углеводородов, усовершенствования способов их сжигания и повышения технико-экономических и экологических показателей.

### **Замечания**

По диссертации имеется ряд замечаний:

1. В разделе 4 «Результаты измерений и их анализ» при анализе карты режимов (рис. 4.9) не описан физический механизм наблюдаемого срыва пламени.

2. Не приведена оценка расхода энергии на производство пара, используемого при сжигании топлива. «Насколько это затратно?»

3. Не представлено обобщение полученных результатов исследований (Раздел 4) в виде критериальных зависимостей. «Что будет, если изменить геометрию горелки?»

4. В диссертации не сказано, какие еще виды жидких углеводородов, кроме дизельного топлива и отработанного машинного масла, можно эффективно сжигать в разработанной горелке.

5. Отсутствуют данные об избытке/недостатке окислителя внутри горелочного устройства.

### **Заключение**

Диссертация является законченной квалификационной работой, обладающей актуальностью, научной новизной, теоретической и практической ценностью результатов, и отвечает всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям.

Диссертация посвящена разработке и научному обоснованию новых технических решений, их применению при создании нового типа горелочного устройства с подачей перегретого водяного пара для сжигания (утилизации)

некондиционных жидких углеводородных топлив (и горючих производственных отходов).

Содержание автореферата полностью соответствует основным идеям, содержанию и выводам диссертации.

Результаты, представленные в диссертации, опубликованы более чем в 31 научном труде, в том числе в 17 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК, включая ведущие рецензируемые международные научные журналы, из них 2 статьи опубликованы без соавторов. Получено 5 патентов РФ на изобретения и 1 патент РФ на полезную модель.

Результаты исследований вносят вклад в развитие научных основ создания инновационных теплоэнергетических технологий, отвечающих высоким современным требованиям к энергоэффективности и экологической безопасности при использовании таких нетрадиционных энергоносителей, как некондиционные жидкие углеводородные топлива и производственные отходы. Решение поставленных задач способствует переходу к экологически чистой и ресурсосберегающей теплоэнергетике при расширении сырьевой базы и сокращении накопленных запасов опасных отходов переработки углеводородного сырья.

Диссертация соответствует специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника по техническим наукам, в частности пунктам 7 и 9 паспорта специальности: *«7. Экспериментальные и теоретические исследования процессов совместного переноса тепла и массы в бинарных и многокомпонентных смесях веществ, включая химически реагирующие смеси... 9. Разработка научных основ и создание методов интенсификации процессов тепло- и массообмена и тепловой защиты»*, т.к. в работе на основе экспериментальных исследований процессов при горении жидких углеводородов в струе перегретого водяного пара научно обоснован перспективный способ утилизации горючих отходов, обеспечивающий за счет интенсификации процессов тепло- и массообмена повышение теплотехнических и экологических показателей. Разработано и создано

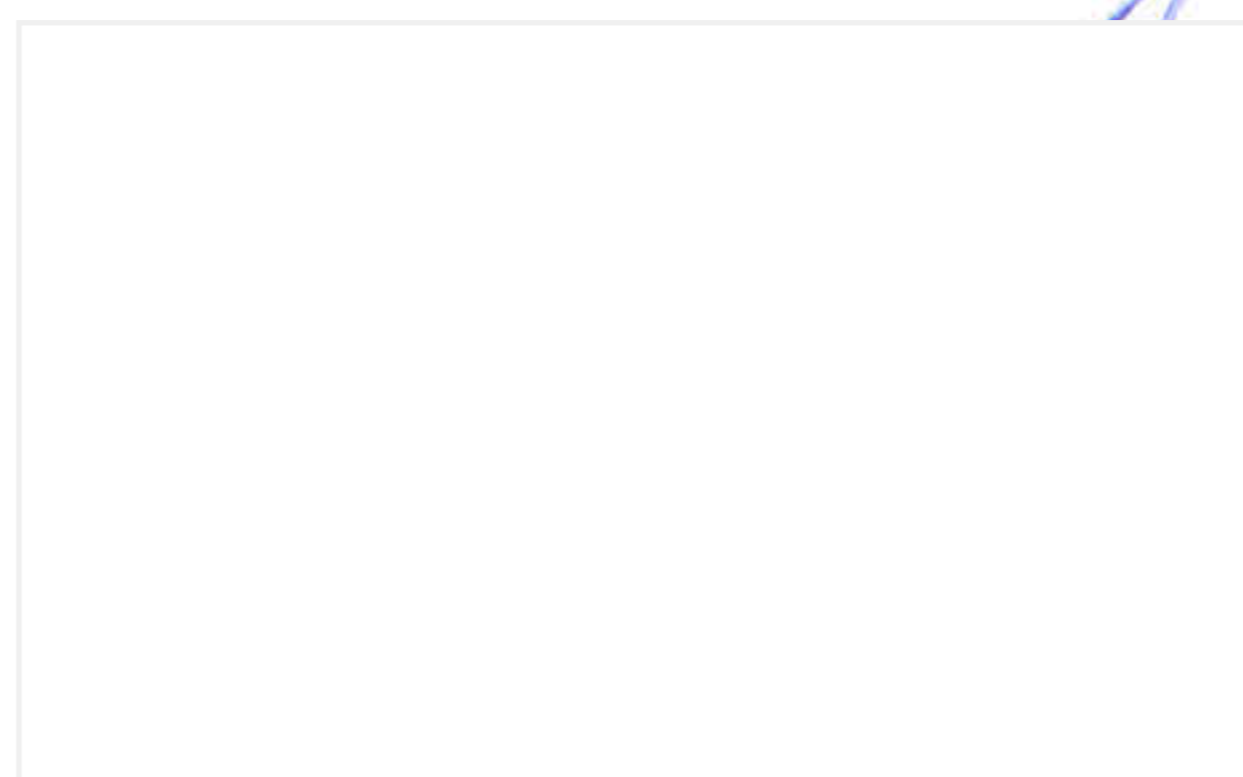
оригинальное жидкотопливное горелочное устройство распылительного типа для сжигания загрязненного топлива и отходов.

Выводы и рекомендации, приведенные в диссертационной работе, достаточно обоснованы и не вызывают возражений. Отмеченные недостатки не меняют общего положительного мнения о диссертационной работе.

Анализ содержания текста диссертации и автореферата диссертации И.С. Ануфриева «Экспериментальное исследование процессов при сжигании жидких углеводородов в горелочных устройствах с подачей перегретого водяного пара» позволяет сделать обоснованное заключение о соответствии диссертационной работы требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (ред. от 01.10.2018) и о том, что ее автор Ануфриев Игорь Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Настоящий отзыв обсужден и утвержден на заседании Научно-технического совета ОАО «ВТИ» (протокол № 3 от «26» сентября 2019 г.).

Председатель НТС,  
доктор технических наук



Тумановский  
Анатолий Григорьевич

«27» 09 2019 г.

Открытое акционерное общество «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт» (ОАО «ВТИ»)

Адрес: 115280, г. Москва, ул. Автозаводская, д.14

Тел.: +7 (495) 137-77-70

Email: vti@vti.ru

Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <http://www.vti.ru>

Подпись Тумановского А.Г. заверяю  
Руководитель направления кадрового  
администрирования ОАО «ВТИ»

Д.С. Кузнецова

*Поступил в Совет 5.11.19  
Уч. секр. Ануфриев И.С.*

С отзывом ознакомлен: *(Ануфриев И.С.) 07.11.2019*