

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА  
Д 212.173.02 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», МИНИСТЕРСТВО НАУКИ  
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 06 декабря 2019 протокол № 4

Диссертация «Экспериментальное исследование процессов при сжигании жидких углеводородов в горелочных устройствах с подачей перегретого водяного пара» в виде рукописи по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 3 сентября 2019 г., протокол № 8 диссертационным советом Д 212.173.02 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования РФ, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, приказ о создании диссертационного совета №105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Ануфриев Игорь Сергеевич 1984 года рождения, гражданин России, в 2006 г. окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Томский государственный университет» по специальности «Механика», с присуждением квалификации механик. В 2009 году окончил очную аспирантуру в учреждении Российской академии наук Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск). В 2009 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.02.05-«Механика жидкости, газа и плазмы», 03.00.16-«Экология» в диссертационном совете Д 212.267.13, созданном при Государственном образовательном учреждении высшего профессионального

образования «Томский государственный университет». Диплом кандидата физико-математических наук ДКН № 102600. В настоящее время работает в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» на кафедре тепловых электрических станций факультета энергетики в должности доцента и в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук в лаборатории радиационного теплообмена в должности старшего научного сотрудника.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

Научный консультант – Алексеенко Сергей Владимирович, академик РАН, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория проблем теплопереноса, заведующий.

Официальные оппоненты:

**Быковский Федор Афанасьевич**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук, главный научный сотрудник;

**Зарко Владимир Егорович**, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук, главный научный сотрудник;

**Минаев Сергей Сергеевич**, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной математики Дальневосточного отделения Российской академии наук, главный научный сотрудник;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Открытое акционерное общество «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени теплотехнический научно-исследовательский институт» (ОАО «ВТИ»), в своем положительном заключении, подписанном председателем научно-технического совета, д.т.н. А.Г. Тумановским, утвержденным генеральным директором Барсуковым О.А., указала, что соискатель заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Соискатель имеет 31 опубликованную работу по теме диссертации, в том числе 17 статей в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, 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. Авторский вклад в опубликованные работы составляет не менее 75 %. Общий объем публикаций – 14,75 п. л. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. *Anufriev, I. S.* Diesel fuel combustion by spraying in a superheated steam jet / I. S. Anufriev, E. P. Kopyev // Fuel Processing Technology. – 2019. – Vol. 192. – P. 154-169.

2. *Anufriev, I. S.* Diesel fuel combustion in a direct-flow evaporative burner with superheated steam supply / I. S. Anufriev, S. V. Alekseenko, O. V. Sharypov, [et al.] // Fuel. – 2019. – Vol. 254. – 115723.

3. *Ануфриев, И. С.* Исследование процессов горения жидких углеводородов при распылении струей перегретого водяного пара // Тепловые процессы в технике. – 2019. – Т. 11, № 4. – С. 146-156.

4. *Ануфриев, И. С.* Исследование структуры газового потока, истекающего из форсунки горелочного устройства распылительного типа / И.

С. Ануфриев, Д. В. Красинский, Е. Ю. Шадрин [и др.] // Теплофизика и аэромеханика. – 2019. – Т. 26, № 4. С.520-527.

5. *Anufriev, I. S.* Combustion of substandard liquid hydrocarbons in atmosphere burners with steam gasification / I. S. Anufriev, S. V. Alekseenko, E. P. Kopyev, O. V. Sharypov // Journal of Engineering Thermophysics. – 2019. – Vol. 28, № 3. – P. 324-331.

6. Алексеенко, С. В. Влияние параметров перегретого водяного пара на процесс горения жидких углеводородов / С. В. Алексеенко, *И. С. Ануфриев*, С. С. Арсентьев [и др.] // Теплофизика и аэромеханика. – 2019. – Т. 26, № 1. – С. 109-113.

На диссертацию и автореферат поступило 8 отзывов, все отзывы положительные:

1. Пенязьков Олег Глебович доктор физико-математических наук, академик НАН Беларуси, Государственное научное учреждение «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси», отметил, что не описан способ контроля расхода воздуха и не указано изменялся ли данный режимный параметр, а также не указана величина дополнительных энергозатрат на генерацию пара.

2. Кузнецов Гений Владимирович доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник НОЦ И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», отметил, что в автореферате нет сведений о погрешностях измерений и запатентован ли предложенный способ сжигания топлива.

3. Павлов Григорий Иванович доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Специальные технологии в образовании», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ» (КНИТУ-КАИ), сделал замечания: основная часть исследований получена на товарном (дизельном) топливе, что не в полной мере соответствует цели диссертации; необходимо обратить внимание на концентрацию в продуктах сгорания высокотоксичных органических

соединений; из автореферата трудно судить о справедливости сформулированного положения о том, что предложенная конструкция горелочного устройства способствует сжиганию отходов нефтедобычи и нефтепереработки и т.д. с высокой энергоэффективностью и низкими показателями токсичных выбросов в атмосферу; согласно технической схеме предложенного горелочного устройства, на выходе из горелки образуются вихри, частота срыва которых при определенных условиях может совпасть с собственной частотой самой горелки; способ смесеобразования не имеет единицы измерения, следовательно не является физическим параметром; в автореферате не приведены результаты других авторов в исследуемой области; заключение о том, что увеличение расхода пара приводит к значительному снижению температуры пламени благодаря увеличению теплоемкости горючей смеси при наличии водяного пара, что способствует снижению производства оксидов азота, не является новым.

4. Лобода Егор Леонидович доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой физической и вычислительной механики, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», подчеркнул, что неясно как будут меняться характеристики и параметры работы горелочного устройства при его масштабировании и повышении мощности.

5. Шидловский Станислав Викторович доктор технических наук, профессор, Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», отметил, что нет информации о том, сопоставлялись ли качественно и количественно научные результаты диссертанта с данными других авторов; при каких параметрах работы используемые методы газового анализа позволяют достоверно регистрировать характеристики продуктов сгорания; целесообразно в защищаемых положениях приводить конкретные научные и практические результаты, полученные автором к защите.

6. Карпов Вадим Леонидович доктор технических наук, с.н.с., главный научный сотрудник, ФГБУ ВО «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России», прислал отзыв без замечаний.

7. Козлов Евгений Александрович доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела газовой динамики и физики взрыва и Жарова Ирина Константиновна доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник отдела газовой динамики и физики взрыва, Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики ФГАОУ ВО «Национального исследовательского Томского государственного университета» делают замечания, что судя по тексту автореферата, исследования проведены только для дизельного топлива, отсутствуют оценки предельных вязкостных характеристик жидких углеводородов для их утилизации рассмотренным способом; не приведены оценки эффективности полученной тепловой энергии.

8. Коржавин Алексей Анатольевич доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией физики и химии горения газов, ФГБУН Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук, прислал отзыв без замечаний.

Выбор официальных оппонентов обосновывается высокой квалификацией специалистов, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации. Так, область научных интересов доктора технических наук, главного научного сотрудника, Быковского Федора Афанасьевича связана с физикой горения и взрыва, детонационным сжиганием топливных смесей, в том числе, с добавлением воды; доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника Зарко Владимира Егоровича – с моделированием процессов газификации жидкого топлива, механизмами горения энергетических материалов, диагностикой процессов горения твердых веществ, образованием аэрозолей при горении; доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника Минаева Сергея Сергеевича – с исследованием процессов

при горении в микроканалах применительно к горелочным устройствам, газотурбинным установкам и двигателям внутреннего сгорания.

Выбор ведущей организации ОАО «ВТИ», обусловлен широкой известностью и достижениями в области исследования и разработок теплоэнергетического оборудования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**предложен** перспективный способ впрыска пара при сжигании низкокачественных видов жидкого углеводородного топлива и опасных промышленных отходов (утилизация с производством тепловой энергии), позволяющий снизить концентрации токсичных оксидов азота и повысить эффективность сжигания топлива;

**показана** экологическая эффективность предложенного способа сжигания в струе перегретого водяного пара;

**предложены** новый способ сжигания жидкого топлива с распылением струей перегретого водяного пара и горелочные устройства для его реализации;

**разработано, создано и испытано** лабораторное горелочное устройство для сжигания жидкого топлива;

**получены** новые эмпирические закономерности, позволяющие управлять показателями горения жидких углеводородов при целенаправленном задании режимных параметров.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что **установлены** закономерности влияния физических параметров (расход топлива, расход и температура пара, способ смесеобразования) на газодинамические, теплофизические и экологические характеристики сжигания исследуемых видов топлива;

**Применительно** к исследуемым задачам результативно использованы методы экспериментального исследования: методы измерения концентрации и дисперсного состава частиц с использованием диффузионного спектрометра аэрозолей; просвечивающая электронная микроскопия – для определения морфологии наноразмерных сажевых частиц; методы цифровой трассерной

визуализации – для измерения скорости многофазных потоков; метод теневой фотографии – для анализа структуры и дисперсного состава газокапельных потоков; интерферометрический метод измерения размеров капель; методы калориметрии – для измерения тепловыделения при сжигании топлива; методы газового анализа состава продуктов сгорания; термопарные и оптические методы измерения температуры в пламени;

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработаны и созданы** оригинальные жидкотопливные горелочные устройства, в которых реализованы новые технические решения, обеспечивающие сжигание жидкого углеводородного топлива и производственных отходов в режиме распыления высокоскоростной струёй перегретого водяного пара;

**достигнуты** высокие экологические показатели устойчивого сжигания некондиционных жидких углеводородных топлив, удовлетворяющие нормативу EN 267: по оксиду углерода в продуктах сгорания не превышающие 50 мг/кВт ч; по оксидам азота – менее 90 мг/кВт ч;

**внедрены** результаты экспериментальных исследований, используемые инжиниринговым предприятием ООО «ЗиО-КОТЭС» (г. Новосибирск) при CFD-моделировании процессов горения жидких топлив на этапе верификации математических моделей, применяемых для разработки теплоэнергетического оборудования и оценки экологических характеристик и эффективности сжигания жидких углеводородов, усовершенствования способов их сжигания и повышения технико-экономических и экологических показателей; результаты исследований используются в учебном процессе на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» для проведения практических занятий по курсу «Физика горения» на кафедре тепловых электрических станций факультета энергетики.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:



**для экспериментальных работ** – достоверность полученных количественных данных обеспечена: использованием современных измерительных методов и устройств при исследовании газодинамических, тепловых и экологических характеристик, методик и оборудования, хорошо зарекомендовавших себя на практике; воспроизводимостью и согласованностью результатов измерений; проведением статистической обработки результатов измерений;

**применение** современных методик сбора и обработки исходной информации, которые заключаются в автоматизации эксперимента, от контроля и регулирования управляющими параметрами до компьютерной обработки результатов измерений;

**обоснованность** применяемых методик расчета энергоэффективности разработанных горелочных устройств, которые заключаются в детальном учете основных теплотерь и получаемой извне дополнительной тепловой энергии;

**корректность** сопоставления характеристик разработанных горелочных устройств с образцами жидкотопливных горелок от передовых производителей, подтверждающего важные преимущества разработанной технологии;

**соответствие** полученных результатов и выводов известным данным, полученным ранее по рассматриваемой тематике.

**Личный вклад соискателя** заключается в постановке задач, определении методов и проведении экспериментального исследования процессов при горении жидких углеводородов с подачей перегретого водяного пара; разработке измерительных методик для определения тепловых и экологических характеристик горения; непосредственном участии в измерении показателей сжигания жидких углеводородов в горелочном устройстве; определяющем вкладе в разработку и создание экспериментальных стендов; анализе и обобщении полученных экспериментальных данных с выявлением эмпирических закономерностей; определяющем вкладе в разработку новых технических решений по созданию жидкотопливных горелочных устройств, на которые получены патенты РФ; формулировании выводов; подготовке публикаций.

Диссертация Ануфриева И.С. «Экспериментальное исследование процессов при сжигании жидких углеводородов в горелочных устройствах с подачей перегретого водяного пара» соответствует научной специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника и требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (ред. от 01.10.2018), а ее автор Ануфриев Игорь Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

На заседании 06 декабря 2019 г. диссертационный совет принял решение присудить **Ануфриеву Игорю Сергеевичу** ученую степень доктора технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 10 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени 14, против присуждения ученой степени – нет, недействительных бюллетеней – 1.

Заместитель председателя диссертационного совета,

доктор технических наук, профессор

П.А. Щинников

Ученый секретарь диссертационного

доктор технических наук, профессор

А.В. Чичиндаев

06 декабря 2019 года