

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.129.01, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ТЕПЛОФИЗИКИ ИМ. С.С. КУТАТЕЛАДЗЕ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 19.04.2023 № 10/2023

О присуждении Белоусовой Наталье Сергеевне, гражданину Российской Федерации,
учёной степени кандидата технических наук

Диссертация «Горение частиц металлического горючего в воздухе и в составе смесевых топлив» по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 15.02.2023, протокол № 5-1/2023 от 15.02.2023 диссертационным советом 24.1.129.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1, приказы Минобрнауки России от 11.04.2012 № 105/нк, от 03.06.2021 № 561/нк.

Соискатель Белоусова Наталья Сергеевна, 06.09.1994 года рождения, на момент защиты диссертации работает в должности старшего преподавателя на кафедре Газодинамических импульсных устройств в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» и с 2016 года и по настоящее время – в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте химической кинетики и горения Сибирского отделения Российской академии наук (ИХКГ СО РАН) в лаборатории Горения конденсированных систем в должности младшего научного сотрудника.

В 2022 году соискатель окончила очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению 01.06.01 – «Математика и механика» (профиль: «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры»), на кафедре Газодинамических импульсных устройств.

Справка о сдаче кандидатского экзамена № 2022/10 по специальности 1.3.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника» выдана в 2022 году в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН).

Диссертационная работа Белоусовой Натальи Сергеевны выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук и в

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

Научный руководитель:

Гуськов Анатолий Васильевич - доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», заведующий кафедрой газодинамических импульсных устройств.

Научный консультант:

Глотов Олег Григорьевич - кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук (ИХКГ СО РАН), заведующий лабораторией горения конденсированных систем.

Официальные оппоненты:

Кузнецов Гений Владимирович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и промышленной теплотехники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» г. Томск;

Нурмухаметов Денис Рамильевич – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории энергетических соединений и нанокompозитов Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» Института углехимии и химического материаловедения (ФИЦ УУХ СО РАН), г. Кемерово – дали положительные отзывы на диссертацию Белоусовой Натальи Сергеевны.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), г. Бийск, в своём положительном заключении, подписанном Козыревым Николаем Владимировичем - доктором технических наук, заведующим лабораторией физико-химических основ создания энергетических конденсированных систем, Комаровой Мариной Витальевной - кандидатом физико-математических наук, научным сотрудником лабораторией физико-химических основ создания энергетических конденсированных систем, Сухановой Анной Геннадьевной - кандидатом химических наук, ученым секретарем ИПХЭТ СО РАН, указала, что «диссертационная работа является своевременной и посвящена актуальным, имеющим научное и прикладное значение, вопросам целевого исследования физических механизмов процессов горения металлического горючего для повышения полноты сгорания и получения

конденсированных продуктов с требуемыми свойствами», а её «практическая значимость не вызывает сомнений».

Соискатель имеет 34 опубликованные работы по теме диссертации, из них 7 статей в международных и отечественных журналах, в том числе 5 в журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ для публикации основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата наук. Также опубликовано 27 тезисов и статей в сборниках материалов международных и всероссийских конференций. В диссертации недостоверных сведений об опубликованных соискателем ученой степени работах не содержится.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации Белоусовой Натальи Сергеевны:

1. Н. С. Белоусова, О. Г. Глотов, А. В. Гуськов. Исследование горения частиц титана с целью генерации наночастиц TiO_2 // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018, № 11, С. 90–99. (Из перечня ВАК)
2. О. Г. Глотов, Н. С. Белоусова, Г. С. Суродин. Горение крупных монолитных частиц титана в воздухе. I. Экспериментальные методики, время горения и режимы фрагментации // Физика горения и взрыва – 2021, Т. 57, № 6, С. 20 - 31. (Из перечня ВАК)
3. Белоусова Н.С., Глотов О. Г. Закономерности движения и коэффициент аэродинамического сопротивления крупных горящих частиц титана в воздухе // Теплофизика и аэромеханика – 2022, № 4, С. 587 – 595. (Из перечня ВАК)
4. Н. С. Белоусова, О. Г. Глотов, И. В. Сорокин. Горение смесевых топлив с титаном // Прикладная механика и техническая физика – 2023, Том 64, № 1, С. 22–26. (Из перечня ВАК)
5. N. S. Belousova, O. G. Glotov, A. V. Guskov. Study of the free falling particles trajectory at the burning monolithic titanium particles // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. - Vol. 1214. – Art. 012010 (7 p.). (Из перечня ВАК).

На автореферат диссертации поступило 7 отзывов. Все отзывы положительные. В отзывах отмечено, что исследование является законченным и выполнено на высоком научном уровне, тема работы является актуальной, полученные результаты обладают научной новизной и могут стать научной базой для прикладных исследований в организациях, занимающихся разработкой и применением высокоэнергетических материалов, специализирующихся на исследовании свойств металлических горючих.

В отзыве на автореферат д.т.н. Ш.Л. Гусейнова – заместителя генерального директора ГНЦ РФ АО «ГНИЭХТЭОС» по науке, главного конструктора, лауреата премии Правительства РФ, заслуженного химика РФ не содержится замечаний.

В отзыве на автореферат к.ф.-м.н. Прууэла Э.Р. - заместителя директора по научной работе и к.ф.-м.н. Рубцова И.А. – научного сотрудника лаборатории физики взрыва ИГиЛ СО РАН не содержится замечаний.

В отзыве на автореферат д.т.н. Ваулина С.Д. – профессора, заведующего кафедрой «Двигатели летательных аппаратов» и к.т.н. Семашко М. Ю. - доцента кафедры «Двигатели летательных аппаратов», руководителя направления 17.05.01 – «Боеприпасы и взрыватели» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» содержится два замечания: «1. Как повлияет увеличение размеров исследуемых частиц в составе топлива на величину импульса тяги? 2. Как влияет наличие металлических энергодобавок на прочностные характеристики корпусных деталей и элементов двигателей?».

В отзыве на автореферат д.т.н. Ягодникова Д.А. – профессора, заведующего кафедрой «Ракетные двигатели» и к.т.н. Федотовой К.В. – доцента кафедры «Ракетные двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана содержится четыре замечания: «1. Констатация результатов горения частиц алюминия как научная новизна требует особого обоснования, как и утверждение, что опубликованные результаты по характеристикам горения частиц алюминия диаметром 0,5 – 1 мм «крайне скудны». Процессы горения и одиночных частиц алюминия и их агломератов (смесевые конденсированные системы) исследовались с шестидесятых годов прошлого века, результаты которых приведены во многих обзорах, в частности Бекстеда М. (ФГВ, 2005, №5). В целом, работа в определенной степени перенасыщена металлами и исключение из неё алюминия, по нашему мнению, только более отчетливо выделило бы актуальность результатов исследования горения титана, бора и додекаборида алюминия. Кроме того, исследуемый диапазон размеров частиц хоть и присутствует в общем составе конгломератов частиц алюминия, но не является преобладающим. 2. В работе заявлено исследование эволюции частиц металлов и волне горения энергетического конденсированного металла, однако большая часть результатов относится к горению в воздухе при атмосферном давлении. 3. В тексте автореферата отсутствует интерпретация полученных экспериментальных результатов с точки зрения физических механизмов горения. 4. Отсутствует четкая связь между главами диссертации, причем глава 2 и 6 представляются избыточными. Из текста автореферата остается неясным, достигнута ли цель диссертационной работы».

В отзыве на автореферат д.ф.- м. н. Коротких А.Г. – доцента специальности 1.3.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества, профессора научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» содержится четыре замечания: «1. Для сравнительной оценки представленных результатов хотелось бы видеть экспериментальные данные о горении

крупных частиц – агломератов на основе бора и борида алюминия на воздухе. 2. Установленный коэффициент сопротивления (входящий в уравнение движения частицы) для падающей на воздухе горячей частицы титана, возможно, имеет ограничение по температуре и составу газовой среды, температуре на поверхности частицы, благодаря изменению плотности и вязкости обтекающего потока. 3. Применяемая энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия (EDS) в установлении элементного состава отобранных КПП не позволяет установить образующиеся при горении металла кристаллические фазы оксидов, карбидов, нитридов, поэтому лучше бы EDS – анализ дополнить данными рентгеноструктурного анализа (RDX). 4. В тексте также следовало бы пояснить влияние используемых в твердотопливных композициях фторсодержащих добавок на полноту сгорания частиц бора и AlB_{12} , скорость горения топлива и дисперсность КПП».

В отзыве на автореферат д.т.н. Хмельникова Е.А. – заместителя руководителя РУСНЦ РАН, Члена-корреспондента РАН, заведующего кафедрой «Специальное машиностроение» Нижнетагильский технологический институт (филиал) ФГАОУ ВО "Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина" содержится два замечания: «1. Каким образом изготавливались образцы модельных топлив для экспериментальных исследований. 2. Как удавалось избегать химической несовместимости бора и додекаборида алюминия с компонентами топлива».

В отзыве на автореферат к.ф.-м.н. Бедарева И. А. - заведующего лабораторией № 12 ИТПМ СО РАН содержится два замечания: «1. Время горения для агломератов алюминия в аппроксимации на стр. 8 зависит от диаметра в степени 1.63. В описании автор говорит «об идентичности процесса горения монолитных частиц и агломератов указанных размеров» для алюминия, но не приводит сравнение с обширными данными о временах горения частиц алюминия, представленными, например, в обзоре [Д. Сандарам, В. Янг, В.Е. Зарко. Горение наночастиц алюминия (обзор) // Физика горения и взрыва. - 2015. - Т. 51, № 2. - С. 37-63]. Тем более что в описании третьей главы для титана сравнение с данными других авторов проведено. Что помешало автору такое сделать такое сравнение для алюминия? 2. На стр. 8 автореферата указано, что «Проведенный анализ позволяет в итоге рекомендовать единую зависимость времени горения от диаметра: $t_b(D) = 3.41 \times 10^{-6} \cdot D^{2.06}$ для монолитных частиц Ti в диапазоне размеров 120 – 540 мкм». На следующей странице приведена такая же формула для пористых частиц титана. Далее говорится о сравнении аппроксимирующих зависимостей. Не вполне понятно, что с чем сравнивается».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой квалификацией в областях науки, непосредственно в области зажигания и горения конденсированных систем, что подтверждается наличием у них публикаций ряда

научных работ в данной области исследований, в том числе соответствующих тематике диссертационного исследования соискателя и опубликованных в ведущих российских и международных журналах и изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований с использованием оригинальной методики, заключающейся в детальной проработке постановочных экспериментов и обработки результатов, получено экспериментальное подтверждение предположения об идентичности процесса горения крупных (400 – 780 мкм) монолитных частиц и агломератов алюминия. Впервые визуализирован и описан механизм фрагментации, охарактеризованы два режима фрагментации, определен эффективный коэффициент аэродинамического сопротивления крупных горящих частиц титана. Экспериментально доказана возможность модификации малыми ($\approx 1\%$) добавками $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$, $(\text{C}_2\text{F}_4)_n$ и MgF_2 характеристик горения топлив на основе бора и додекаборида алюминия.

Теоретическая и практическая значимость заключается в том, что полученные результаты горения металлических горючих могут быть использованы для развития теории горения гетерогенных конденсированных систем и для решения ряда практических задач, связанных с расчетом переходных процессов в энергоустановках различного назначения (ракетно-космические технологии, средства вооружения, пиротехника, газогенераторы, двигатели на твердом и пастообразном топливах). Установленные закономерности и характеристики горения металлических горючих дают основу для расширения фундаментальных знаний о горении твердотопливных композиций, содержащих металлические порошки, а также могут стать основой для проведения опытно-конструкторских работ в прикладных организациях, специализирующихся на исследовании свойств металлических горючих.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что результаты, полученные с использованием современных методов измерений, являются обоснованными, характеризуются низким уровнем систематических неопределенностей при регистрации характеристик исследовавшихся процессов. Достоверность также подтверждена сопоставлением полученных результатов автора диссертации с известными теоретическими и экспериментальными данными других исследователей.

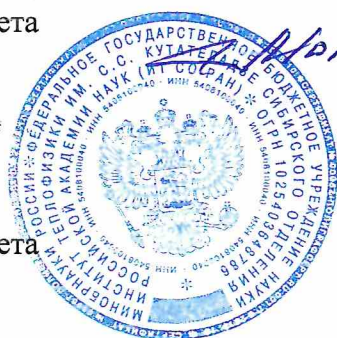
Личный вклад автора состоит в планировании, проведении исследований, обработке экспериментальных данных и определении зависимостей; поиске и анализе научной литературы по исследованию смесового твердого топлива; анализе и обобщении полученных в работе результатов; формулировке защищаемых положений и выводов. Подготовка публикаций по теме диссертации проводилась совместно с научным руководителем, научным консультантом и соавторами работ.

Диссертационным советом 24.1.129.01 сделан вывод о том, что диссертация Белоусовой Натальи Сергеевны представляет собой научно-квалификационную работу, в которой решена научная задача об экспериментальном исследовании горения частиц металлического горючего в воздухе и в составе смесевых топлив, имеющая существенное значение для развития фундаментальных знаний о горении твердых топлив, содержащих металлические частицы, а также позволяющая расширить элементную базу для конструирования высокоэнергетических систем. Представленная диссертационная работа соответствует критериям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013.

На заседании 19 апреля 2023 года диссертационный совет 24.1.129.01 принял решение присудить Белоусовой Наталье Сергеевне ученую степень кандидата технических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них - 6 докторов наук по профилю специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника (технические науки), участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали за присуждение ученой степени – 14, против – 2, недействительных бюллетеней – 3.

Заместитель председателя
диссертационного совета
академик РАН



Д.М. Маркович

Ученый секретарь
диссертационного совета
профессор РАН

В.В. Терехов

19.04.2023