

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.269.13,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», МИНИСТЕРСТВО  
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 25 декабря 2018 г. № 115

**О присуждении** Золоторёву Николаю Николаевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

**Диссертация** «Исследование рабочих процессов в гибридном ракетном двигателе прямой схемы»

**по специальности** 01.04.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества

**принята к защите** 17 октября 2018 г. (протокол заседания № 112) диссертационным советом Д 212.269.13, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования (ФГАОУ ВО) «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 634050, г. Томск, пр. Ленина 30, приказом Минобрнауки России от 11.04.2012 г. № 105/нк.

**Соискатель** Золоторёв Николай Николаевич, 1990 года рождения.

**В 2014** году соискатель окончил магистратуру ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» по направлению подготовки «Техническая физика».

**В 2018** году окончил очную аспирантуру ФГАОУ ВО «Национальный

исследовательский Томский государственный университет».

**Работает** лаборантом на кафедре прикладной газовой динамики и горения ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; по совместительству – инженер-исследователь в лаборатории 11 отдела газовой динамики и физики взрыва «Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики Томского государственного университета», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

**Диссертация выполнена** на кафедре прикладной газовой динамики и горения физико-технического факультета ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», и в лаборатории 11 отдела газовой динамики и физики взрыва «Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики Томского государственного университета», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный руководитель** – доктор физико-математических наук, профессор Архипов Владимир Афанасьевич, основное место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», лаборатория 102 Научно-исследовательского института прикладной математики и механики, ведущий научный сотрудник; по совместительству – отдел газовой динамики и физики взрыва Научно-исследовательского института прикладной математики и механики, заведующий отделом; кафедра прикладной газовой динамики и горения, профессор.

**Официальные оппоненты:**

Павловец Георгий Яковлевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого» Министерства обороны Российской Федерации (г. Балашиха, Московская обл.), старший научный сотрудник научно-исследовательского центра;

Лапшин Олег Валентинович, доктор физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Томский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, ведущий научный сотрудник отдела структурной макрокинетики, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем химико-энергетических технологий» Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН) (г. Бийск, Алтайский край) в своем положительном отзыве, подписанном Павленко Анатолием Александровичем, доктором физико-математических наук, доцентом, главным научным сотрудником лаборатории физики преобразования энергии высокоэнергетических материалов и Титовым Сергеем Сергеевичем, кандидатом технических наук, ученым секретарём ИПХЭТ СО РАН и заведующим лабораторией физики преобразования энергии высокоэнергетических материалов, указала, что диссертационная работа Золоторёва Николая Николаевича представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Для решения поставленных задач в диссертации использовались современные теоретические и практические методы исследования. Объем и качество изложенного материала, научная новизна и практическая значимость соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, и представляет собой научно-квалификационную работу. В диссертации содержится решение задач, имеющие существенное значение для ракетостроительной отрасли промышленности в плане создания перспективных двигательных установок космического назначения, а ее автор, Золоторёв Николай Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Соискатель имеет 57 опубликованных работ, в том числе по теме

диссертации опубликовано 50 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ (из них опубликовано в научных изданиях, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus, 4 работы). В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах (авторский вклад в основных работах по диссертации составляет от 60 до 80 %, общий объем 10,6 печатных листов).

**Наиболее значимые работы:**

1. **Золоторёв Н. Н.** Исследование энергетических характеристик металлизированных смесевых композиций на основе двойного окислителя при повышенных давлениях / Т. И. Горбенко, М. В. Горбенко, Е. О. Дюндин, **Н. Н. Золоторёв** // **Известия высших учебных заведений. Физика.** – 2014. – Т. 57, № 5. – С. 45–50;
2. **Золоторёв Н. Н.** Лазерная диагностика структуры факела распыла при диспергировании жидкости форсунками / В. А. Архипов, С. А. Басалаев, В. Ф. Трофимов, **Н. Н. Золоторёв** // **Инженерно-физический журнал.** – 2017. – Т. 90, № 6. – С. 1499–1505;
3. **Золоторёв Н. Н.** Оптимизация характеристик гибридного ракетного двигателя прямой схемы / В. А. Архипов, С. С. Бондарчук, А. С. Жуков, **Н. Н. Золоторёв**, К. Г. Перфильева // **Физика горения и взрыва.** – 2017. – Т. 53, № 6. – С. 19–25;
4. **Золоторёв Н. Н.** Дисперсность капель в факеле распыла форсунок / В. А. Архипов, **Н. Н. Золоторёв**, С. А. Басалаев, С. С. Бондарчук // **Оптика атмосферы и океана.** – 2018. – Т. 31, № 6. – С. 489–491.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы:**

- 1) ФГБУН Институт теоретической и прикладной механики имени С.А. Христиановича СО РАН (г. Новосибирск), отзыв составлен главным научным сотрудником лаборатории гиперзвуковых технологий, д.т.н. **Звегинцевым Валерием Ивановичем;**
- 2) ФГУП Федеральный центр двойных технологий «Союз» (г. Дзержинский, Московская обл.), отзыв составлен начальником лаборатории **Федорычевым Александром Васильевичем;**

3) Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН (г. Кемерово), отзыв составлен главным научным сотрудником лаборатории энергетических соединений и нанокompозитов, д.ф.-м.н., профессором **Адуевым Борисом Петровичем** и старшим научным сотрудником лаборатории энергетических соединений и нанокompозитов, к.ф.-м.н. **Звеквым Александром Андреевичем**;

4) ФГБОУ ВО Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова (г. Ижевск), отзыв составлен профессором кафедры высшей математики, д.ф.-м.н., профессором **Теневым Валентином Алексеевичем**;

5) ФГБУН Институт прикладной механики РАН (г. Москва), отзыв составлен главным научным сотрудником, д.т.н. **Бошнятовым Борисом Владимировичем**;

6) ФГБОУ ВО Омский государственный университет (г. Омск), отзыв составлен директором научно-образовательного центра «Космическая экология», профессором кафедры «Авиа и ракетостроения», д.т.н. **Трушляковым Валерием Ивановичем**;

7) ФГУП Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова (г. Москва), отзыв составлен исполняющим обязанности начальника сектора, к.т.н. **Савельевым Александром Михайловичем**;

8) ФГБОУ ВО Тольяттинский государственный университет (г. Тольятти), отзыв составлен директором научно-образовательного центра «Физика горения энергоемких материалов», д.т.н., доцентом **Егоровым Александром Григорьевичем**;

9) АО Федеральный научно-производственный центр «Алтай» (г. Бийск, Алтайский край), отзыв составлен ведущим научным сотрудником, к.т.н. **Громовым Александром Михайловичем** и главным научным сотрудником, д.т.н. **Шандаковым Владимиром Алексеевичем**;

10) ФГБУН Институт химической кинетики и горения имени В.В. Воеводского СО РАН (г. Новосибирск), отзыв составлен главным научным сотрудником, д.ф.-м.н., профессором **Зарко Владимиром Егоровичем**;

11) ФГБУН Институт теплофизики имени С.С. Кутателадзе СО РАН

(г. Новосибирск), отзыв составлен главным научным сотрудником, д.т.н., профессором **Тереховым Виктором Ивановичем**;

12) АО Научно-производственная корпорация «Конструкторское бюро машиностроения» (г. Коломна, Московская обл.), отзыв составлен заместителем начальника научно-теоретического отделения, д.т.н. **Новиковым Валерием Гурьевичем** и начальником сектора динамики старта научно-теоретического отделения **Тукаевым Александром Михайловичем**;

13) ФГБУН Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН (г. Ижевск), отзыв составлен ведущим научным сотрудником лаборатории физико-химической механики, д.т.н. **Корепановым Михаилом Александровичем**.

Все отзывы положительные. Замечания по автореферату сводятся к следующим группам: 1) замечания по результатам отработки модельного гибридного ракетного двигателя; 2) замечания по обоснованию выбора типов исследуемых форсунок; 3) замечания по модели горения твердотопливного заряда в потоке окислителя; 4) замечания по реализации технологии изготовления оптимизированного заряда твердого горючего материала с вводом дополнительного окислителя; 5) замечания по условиям термодинамических расчетов; 6) замечания по модовому составу лазерного излучения; 7) замечания по выбору эталонного состава (пироксилин) при исследовании зажигания динамического режима; 8) замечания по выбору критериев подобия для описания дисперсности капель в факеле распыла; 9) замечания редакционного характера.

Во всех отзывах отмечается, что замечания не снижают научной новизны и практической значимости диссертационной работы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **Г. Я. Павловец** – известный специалист в области внутренней баллистики ракетных двигателей и физико-химии процессов горения высокоэнергетических материалов; **О. В. Лапшин** – известный специалист в области химической физики и процессов горения конденсированных систем; **Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН** – известен своими исследованиями в

области разработки и исследования характеристик горения новых высокоэнергетических материалов, а также в области разработки оптических методов и исследований дисперсных характеристик различных аэрозольных систем.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**предложены** перспективные многокомпонентные составы базовых топливных композиций для гибридного ракетного двигателя, содержащие 40 % тетразола и 60 % металлического горючего;

**определены** характеристики зажигания перспективных составов высокоэнергетического материала и твердого горючего материала при воздействии кондуктивного и лучистого тепловых потоков. По измеренным значениям времени задержки зажигания получены константы формальной кинетики для исследуемых составов высокоэнергетических материалов;

**проведены** экспериментальные исследования скорости горения образцов рассматриваемых высокоэнергетических материалов при атмосферном и повышенном давлении;

**сконструирован** и создан пневмогидравлический стенд;

**разработан** лазерно-диагностический комплекс для измерения пространственного распределения концентрации капель в факеле распыла и функции распределения капель по размерам;

**получены** новые экспериментальные данные по структуре факела распыла модельных жидкостей при распыливании центробежной и эжекционной форсунками;

**установлены** особенности формирования факела распыла при распыливании жидкости центробежной и эжекционной форсунками: наличие газового вихря в центробежной форсунке и вращательное движение вытекающей струи жидкости приводят к формированию струи в форме полого тела вращения; факел распыла эжекционной форсунки характеризуется большей дальностью и наличием максимальной концентрации капель в приосевой области;

**получены** дифференциальные функции счетного распределения капель по размерам при распыливании центробежной и эжекционной форсунками;

**предложена** математическая модель процесса горения твердотопливного заряда в гибридном ракетном двигателе прямой схемы, представлены результаты расчетов параметров потока окислителя и скорости горения;

**предложен** способ улучшения характеристик твердотопливного заряда для гибридного ракетного двигателя прямой схемы путем введения в состав твердого горючего материала дополнительного окислителя с заданным распределением;

**получена** аналитическая зависимость для расчёта распределения содержания окислителя, обеспечивающего равномерность и высокую полноту сгорания твердотопливного заряда;

**разработан** стенд для исследования экспериментального процесса горения в гибридном ракетном двигателе.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**расширены** представления о характеристиках и механизмах зажигания в условиях постоянного и переменного потока, процессах горения высокоэнергетических материалов и твердых горючих материалов с новыми перспективными борсодержащими компонентами;

**применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) получены** данные о константах формальной кинетики процесса зажигания новых перспективных борсодержащих композиций высокоэнергетических материалов и твердых горючих материалов;

**получена** информация о дисперсности распыливаемого жидкого компонента топлива гибридного ракетного двигателя для центробежной и эжекционной форсунок;

**обоснована** возможность обеспечения равномерного горения заряда твердого горючего материала в потоке окислителя путем введения дополнительного окислительного компонента в состав твердотопливного заряда.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для**

**практики подтверждается тем, что:**

**представленная** модель горения заряда твердого горючего материала в потоке окислителя может быть использована для расчета рабочих процессов как в модельных, так и в натурных гибридных ракетных двигателях прямой схемы;

**предложено** повысить полноту сгорания и энергетические характеристики твердого горючего материала путём введения в состав твердого горючего материала дополнительного окислителя;

**представлены** результаты констант формальной кинетики, позволяющие прогнозировать характеристики зажигания перспективных композиций высокоэнергетических материалов и твердых горючих материалов с борсодержащими компонентами.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**достоверность результатов** полученных в работе, следует из применения современных взаимодополняющих методов экспериментального исследования; **использование** бесконтактных оптических методов диагностики факела распыла, сопоставления полученных результатов с данными других исследователей в пересекающихся диапазонах параметров, статистической обработкой результатов измерений.

**Личный вклад соискателя** состоит в совместной с научным руководителем постановке цели и задач исследования, в получении и анализе результатов термодинамических расчетов, подготовке модельных экспериментальных стендов и их модернизация, настройке программно-аппаратного комплекса для регистрации параметров, в проведении экспериментальных исследований зажигания и горения образцов высокоэнергетических материалов и зарядов твёрдого горючего материала. Соискатель принимал активное участие в обработке и анализе полученных данных, формулировке выводов и заключений по результатам исследований.

Диссертация является научно-квалификационной работой в которой содержится решение научной задачи, заключающейся в экспериментальном исследовании процессов зажигания и горения твердотопливных зарядов

гибридного ракетного двигателя, имеющей значение для развития теории физико-химических процессов при горении гетерогенных систем и соответствует п. 9 абз. 2 Положения о присуждении ученых степеней.

На заседании 25 декабря 2018 г. диссертационный совет принял решение присудить **Золоторёву Н.Н.** ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 8 докторов наук по специальности 01.04.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета,

д.ф.-м.н., профессор

Кузнецов Гений Владимирович

Ученый секретарь

диссертационного совета,

к.т.н., доцент

Матвеев Александр Сергеевич

25 декабря 2018 г.