«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева

д.х.н., профессор Е.В. Румянцев

«6» марта 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация на тему: «Исследование закономерностей катализа горения смесевых систем на основе различных окислителей в широком диапазоне давления» по научной специальности 2.6.12 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ (технические науки) выполнена на кафедре химии и технологии высокомолекулярных соединений федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

В процессе подготовки диссертации Гулаков Михаил Юрьевич, «11» марта 1995 года рождения, являлся аспирантом кафедры химии и технологии высокомолекулярных соединений РХТУ им. Д.И. Менделеева с 01.09.2019 г. по 31.08.2023 г.

С 25.04.2024 г. по настоящее время работает ассистентом кафедры химии и технологии высокомолекулярных соединений федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Справка об обучении с результатами сдачи кандидатских экзаменов выдана в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» в 2024 году.

Научный руководитель – доктор технических наук по специальности 05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических материалов, профессор, профессор кафедры химии и технологии высокомолекулярных соединений федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский

химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» Денисюк Анатолий Петрович.

По результатам рассмотрения диссертации на тему: «Исследование закономерностей катализа горения смесевых систем на основе различных окислителей в широком диапазоне давления» принято следующее заключение.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена тем, что пороха и ТРТ являются энергетической основой всех видов вооружения и также достаточно широко используются в хозяйственных целях в различных газогенераторах (газовых рулях, подушках безопасности, пожаротушащих системах) и ракетных двигателях (противоградовых и геофизических ракетах и др.).

Одной из важнейших характеристик порохов и топлив, определяющих конструктивные особенности зарядов и систем в целом и эффективность их действия является скорость (в подавляющем большинстве случаев) их горения, и главное, низкая ее зависимость от давления и начальной температуры заряда.

Для баллиститных порохов это в основном достигается за счет введения в их состав катализаторов горения. Большой вклад в эту проблему внесли работы, выполненные в РХТУ им. Менделеева, ФЦДТ «Союз» и др. организациях. Практически во всех баллиститных ТРТ содержатся катализаторы, обеспечивающие необходимую скорость горения и низкую и даже независимость ее зависимость от давления в различном его интервале (значение ν в законе скорости горения $U=Bp^{\nu}$), а также от начальной температуры заряда.

Возможности целенаправленного регулирования этих характеристик существенно увеличились в результате установления основных факторов, обеспечивающих катализ горения баллиститных топлив.

Катализ горения происходит только при выполнении двух условий:

1) На поверхности горения образуется развитой сажистый каркас, на котором происходит накопление частиц катализатора.

2) Коэффициент теплопроводности этого каркаса должен быть (в ~3 и более раз) выше, чем коэффициент теплопроводности газовой зоны над поверхностью горения пороха без катализатора. В этом случае основное количество тепла, необходимого для распространения горения, поступает в конденсированную фазу (к-фаза) из зоны каркаса, которая является ведущей.

Научная новизна заключается в следующем:

Впервые показано, что для исследованных модельных образцов также, как и для БРТ, эффективность действия катализаторов зависит от энергетики и скорости горения базового состава. Чем выше эти параметры, тем меньше влияние катализаторов и меньше диапазон давления, в котором проявляется их действие.

Впервые экспериментально установлено, что катализ горения топлив на основе ПХА происходит по такому же механизму, как для БРТ, т.е. на поверхности горения, образуется сажистый каркас, на котором происходит значительное накопление частиц катализатора, которые ускоряют взаимодействие продуктов распада окислителя и горючего и повышают его коэффициент теплопроводности. Горение катализированного образца происходит по газофазной модели также, как и образца без катализатора.

Впервые показано, что добавка оксида меди может оказывать двойное влияние – при низком давлении он является катализатором горения, а с увеличением давления – теплопроводящим элементом.

Впервые исследованы закономерности катализа горения топлива на основе НА в широком диапазоне давления (0,1-200 МПа).

Впервые показано, что салицилат железа1 является наиболее эффективным катализатором среди изученных экологически безопасных добавок (снижает ν от 0,92 до 0,43).

Впервые показано, что при введении в топливо 20% октогена (Тг = 2559 К) за счет уменьшения количества НА увеличивается скорость горения топлива, что приводит к снижению ν от 0,92 до 0,32. Напротив, металлическое горючее (АСД-4 или АМД-10) снижает эффективность действия комбинированного катализатора.

Показано, что на катализ высокоэнергетического топлива (Тг = 3298 К) с 15% металлического горючего и 20% октогена (за счет уменьшения нитрата аммония) катализаторы оказывают слабое влияние из-за ухудшения возможностей образования углеродного каркаса. Это происходит вследствие высокой температуры и повышенной скорости горения, а также накопления металлических частиц на поверхности горения, которые затрудняют доступ реагирующих молекул к катализатору.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в том, что на основании ранее полученных данных по катализу горения баллиститных

---

[1] Салицилат железа получен на кафедре ХТВМС Сизовым В.А.

порохов, различных индивидуальных нитросоединений и данных этой работы по катализу горения смесевых образцов на основе перхлората и нитрата аммония можно полагать, что механизм катализа горения энергетических материалов является единым. Исходя из этого вывода можно прогнозировать возможность катализа систем или индивидуальных веществ. Так, например, катализаторы не оказывают влияние на скорость горения нитрогуанидина, так как в его составе всего 11,5% углерода. Добавление к катализатору УНТ позволяет увеличить скорость горения в ~4 раза.

Также этот вывод имеет практическую значимость, так как понимание единого механизма катализа горения энергетических материалов позволяет целенаправленно и с меньшими затратами решать вопросы по регулированию скорости горения составов и снижать зависимость ее от давления для самых различных систем.

На основе полученных данных о комплексе различных характеристик топлив на основе нитрата аммония получен патент на составы с регулируемой скоростью горения и пониженной ее зависимостью от давления, с низкой чувствительностью к механическому воздействию и с экологически чистыми продуктами горения для использования их в различных газогенераторах и ракетах гражданского применения.

Работа характеризуется логичностью построения, аргументированностью основных научных положений и выводов, а также четкостью изложения.

Основные положения диссертации получили полное отражение в 4 публикациях в рецензируемых изданиях, из них 1 статья в журналах, индексируемых в международной базе данных Scopus. Имеется 1 патент РФ.

Результаты диссертации представлены на международных и всероссийских конференциях, в том числе на XV, XVI, XVII, XVIII, XIX Международных конгрессах по химии и химической технологии (МКХТ-2019, МКХТ-2020, МКХТ-2021, МКХТ-2022, МКХТ-2023) (г. Москва, 2019-2023 гг.); Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2021» (г. Москва, 2021 г.); Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2022» (г. Москва, 2022 г.); I Всероссийской научно-технической конференции «Боеприпасы. Конструкция, технология, испытания» (г. Самара, 2021 г.); II Всероссийской научно-технической конференции «Боеприпасы. Конструкция, технология, испытания» (г. Самара, 2022 г.); Всероссийской конференции «Высокоэнергетические материалы: новые подходы к созданию и

применению» (г. Москва, 2021 и 2022 гг.); Ежегодной научной конференции отдела горения и взрыва ИХФ РАН (г. Москва, 2021 и 2024 гг.).

Публикации в изданиях, индексируемых в международных базах данных:

1. Гулаков М.Ю. Единый механизм катализа горения энергонасыщенных материалов / А.П. Денисюк, Л.А. Демидова, **М.Ю. Гулаков**, А.О. Меркушкин // Горение и взрыв. – 2024. – Т.17, №3 (44). – С.84-91. **(Scopus)**

Публикации в рецензируемых изданиях:

1. Гулаков М.Ю. Регулирование комплекса свойств топлива на основе нитрата аммония / **М.Ю. Гулаков**, А.П. Денисюк, А.А. Аверьянов // Химическая промышленность сегодня. – 2022. – №4. – С. 28-35. **(ВАК)**

2. Гулаков М.Ю. Влияние углеродных нанотрубок на катализ горения топлива на основе перхлората аммония / **М.Ю. Гулаков**, А.П. Денисюк, Г.В. Апарина, А.А. Аверьянов // Вестник Самарского государственного университета. Серия: «Взрывчатые вещества, пороха и твердые ракетные топлива. Синтез, свойства, технология». – 2022. – №15. – С.144-152. **(ВАК)**

3. Гулаков М.Ю. Закономерности катализа горения твердых ракетных топлив, содержащих различные порошкообразные компоненты / А.П. Денисюк, Ю.Г. Шепелев, **М.Ю. Гулаков**, А.А. Аверьянов // Вестник Самарского государственного университета. Серия: «Взрывчатые вещества, пороха и твердые ракетные топлива. Синтез, свойства, технология». – 2023. – №16. – С. 25-35. **(ВАК)**

Патенты:

1. Патент № 2797695 C1 Российская Федерация, МПК C06B 25/18, C06B 27/00, C06B 29/06. Топливо на основе нитрата аммония с низкой чувствительностью к удару и экологически чистыми продуктами горения: № 2022122207: заявл. 16.08.2022: опубл. 07.06.2023 / А. П. Денисюк, **М. Ю. Гулаков**, А. А. Аверьянов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Публичные доклады на всероссийских и международных научных мероприятиях *(конференциях, съездах, симпозиумах, конгрессах):*

1. Гулаков М.Ю. Изучение закономерностей горения смесевых топлив при высоком давлении / **М.Ю. Гулаков**, В.В. Соколов, Ю.Г. Шепелев

// Успехи в химии и химической технологии. – 2019. – Т. 33. – № 9 (219). – С. 68-71.

2. Гулаков М.Ю. Изучение закономерностей горения топлива на основе нитрата аммония / **М.Ю. Гулаков**, А.П. Денисюк, В.В. Соколов, Д.А. Бажанов // Успехи в химии и химической технологии. – 2020. – Т. 34. – № 9 (232). – С. 95-97.

3. Гулаков М.Ю. Влияние катализаторов на скорость горения топлив на активном связующем с нитратом аммония / А.П. Денисюк, **М.Ю. Гулаков**, В.А. Сизов, Д.А. Бажанов, Е.Р. Степанова // Горение и взрыв. – 2020. – Т. 13, №4. – С. 116-121.

4. Гулаков М.Ю. Влияние октогена и металлического горючего на эффективность действия катализаторов на горение топлив на основе нитрата аммония / **М.Ю. Гулаков**, А.П. Денисюк, В.О. Шишков // Успехи в химии и химической технологии. – 2021. – Т. 35. – № 10 (245). – С. 22-24.

5. **Гулаков М.Ю.**, Сизов В. А. Влияние катализаторов горения на горение топлива на основе нитрата аммония // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2021» / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов, Е.И. Зимакова [Электронный ресурс]. – М.: МАКС Пресс, 2021. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – 2000 экз. ISBN 978-5-317-06593-5.

6. **Гулаков М.Ю.**, Соколов В.В., Денисюк А.П. Катализ горения топлива на основе нитрата аммония в широком диапазоне давления // I Всероссийская научно-техническая конференция «Боеприпасы. Конструкция, технология, испытания». Самара, 19 – 21 мая 2021 года.

7. Гулаков М.Ю. Экологический катализатор горения для топлив на основе нитрата аммония / А.А. Аверьянов, **М.Ю. Гулаков**, А.П. Денисюк // Успехи в химии и химической технологии. – 2022. – Т. 36. – № 10 (259). – С. 108-111.

8. **Гулаков М.Ю.**, Аверьянов А. А. Влияние углеродных материалов на горения модельного топлива на основе перхлората аммония // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2022» / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов, Е.И. Зимакова [Электронный ресурс]. – М.: МАКС Пресс, 2022. ISBN 978-5-317-06824-0.

9. **Гулаков М.Ю.**, Денисюк А.П. Влияние углеродных материалов на горение смесевой композиции // II Всероссийская научно-техническая

конференция «Боеприпасы. Конструкция, технология, испытания». Самара, 18 – 20 мая 2022 года.

10. Гулаков М.Ю. Влияние углеродных нанотрубок на профиль волны горения модельного состава на основе перхлората аммония / **М.Ю. Гулаков**, К.А. Ткачев, С.Э. Тарасова, А.П. Денисюк // Успехи в химии и химической технологии. – Т. 37. – № 10 (272). – С. 29-31.

11. Гулаков М.Ю. Различные железосодержащие катализаторы горения для составов на основе нитрата аммония / **М.Ю. Гулаков**, А.А. Бунина, А.А. Аверьянов, А.П. Денисюк // Успехи в химии и химической технологии. – Т. 37. – № 10 (272). – С. 6-9.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ, в части:

п. 11. Научные основы и закономерности физико-химической технологии и синтеза специальных продуктов. Новые технологии производства специальных продуктов.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация Гулакова Михаила Юрьевича является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей результаты, полученные на основании исследований, проведенных на высоком научном и техническом уровне с применением современных методов исследования. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат Гулакову Михаилу Юрьевичу; они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

С учетом научной зрелости автора, актуальности, научной новизны и практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к подобным работам, диссертация на тему: «Исследование закономерностей горения смесевых систем на основе различных окислителей в широком диапазоне давления» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Диссертация рассмотрена на заседании кафедры химии и технологии высокомолекулярных соединений, состоявшемся «7» сентября 2024 года, протокол №2. В обсуждении приняли участие: д.т.н. декан факультета Синдицкий В.П., д.т.н. зав.кафедрой Петров В.А., к.т.н. доцент Серушкин В.В., к.х.н. доцент Колесов В.И., к.т.н. доцент Сизов В.А., к.т.н. доцент Шепелев Ю.Г., к.т.н. доцент Лямкин Д.И., к.т.н. преподаватель Черный А.Н, ст. преподаватель Михалев Д.Б.

Принимало участие в голосовании 9 человек. Результаты голосования: «За» - 9 человек, «Против» - 0 человек, «Воздержались»- 0 человек, протокол № 2 от «7» сентября 2024 г.

Заведующий кафедрой
д.т.н., профессор В.А. Петров

Секретарь заседания Н.Н. Кондакова