

**Федеральное государственное казенное военное образовательное
учреждение высшего образования
«Военная академия Ракетных войск стратегического назначения
имени Петра Великого»
Министерства обороны Российской Федерации**

143900, Московская обл., г. Балашиха, ул. Карбышева, д.8

Экз. № 1

Отзыв

официального оппонента о диссертационной работе

Гулакова Михаила Юрьевича, выполненной на тему

«Исследование закономерностей катализа горения смесевых систем на
основе различных окислителей в широком диапазоне давления», представленную
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.6.12 Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Одной из важнейших характеристик твердых топлив, определяющих
конструктивные особенности систем военного и гражданского назначения, а
также эффективность их применения, является скорость горения и ее
зависимость от давления и начальной температуры, которые называются
баллистическими характеристиками (БХ).

Для регулирования БХ твердых топлив в их состав вводят модификаторы
горения (МГ), которые наряду с обеспечением требуемой скорости горения и ее
зависимости от внешних факторов, как правило, ухудшают комплекс других
характеристик топлив (энергетические, взрывчатые, эксплуатационные,
технологические и др.). Поэтому во многих организациях, которые занимаются
разработкой и исследованием свойств твердых топлив, проводился и
проводится поиск эффективных МГ, которые при наименьшем содержании
обеспечивают требуемые БХ топлив.

В частности, для баллистических ракетных топлив (БРТ) регулирование БХ
достигается в основном за счет введения в их состав катализаторов горения.

В работах РХТУ показано, что для повышения эффективности действия катализаторов в БРТ а также нитросоединений, на поверхности их горения должен образовываться сажистый каркас, на котором происходит накопление частиц катализатора и который повышает теплопередачу из газовой в конденсированную фазу.

Наряду с БРТ, в системах военного и гражданского назначения широко применяются смесевые твердые топлива (СТТ), для которых тоже стоит вопрос о выборе эффективных катализаторов горения для обеспечения требуемых БХ.

При этом практика показала, что в системах гражданского назначения наиболее распространенными окислителями СТТ являются перхлорат аммония (ПХА) и нитрат аммония (НА).

В этой связи не вызывает сомнения **актуальность темы** диссертационных исследований Гулакова М.Ю., **целью** которых является расчетное и экспериментальное выявление применимости условий катализа горения БРТ и нитросоединений к катализу горения смесевых систем на основе ПХА и топлив с высоким содержанием НА.

Достижение поставленной цели обеспечивается решением задач, сформулированных автором. Работа состоит из введения, литературного обзора, методической части, экспериментальной части, обсуждения результатов, выводов и списка литературы из 99 наименований, в том числе 14, автором которых является Гулаков М.Ю.

Введение содержит обоснование актуальности и перспективности темы диссертации.

В первой главе, в результате анализа механизма горения смесевых топлив на основе ПХА и НА и факторов, определяющих их скорость горения, сделан обоснованный вывод о возможности заметного влияния углеродных материалов, в том числе углеродных нанотрубок (УНТ), на закономерности горения указанных топлив.

Во второй главе подробно описаны характеристики используемых компонентов, методики приготовления образцов, способы определения

скорости горения в широком диапазоне давлений, способы определения чувствительности топлив к внешним воздействиям, способ определения температурного профиля волны горения, а также методика электронно-микроскопического исследования погашенных образцов топлив.

В третьей главе представлены экспериментальные результаты по влиянию углеродных материалов на катализ горения модельных топлив на основе неактивного связующего (поливинилбутираля, пластифицированного дибутилфталатом (ДБФ)) с различным содержанием ПХА (70% и 86%) в широком диапазоне давлений (0,1 – 20 МПа). При этом особо значимо, что экспериментально показано влияние катализаторов и углеродных материалов на параметры волны горения и на состояние поверхности погашенных образцов модельных топлив, содержащих 70% ПХА. Примечательно, что по данным термодинамических исследований была проведена оценка коэффициента теплопроводности углеродного каркаса модельного топлива с ПХА, и показано существенное влияние содержания катализатора (ДАФ-2) и УНТ на изменение его значений.

При анализе состояния поверхности погашенных образцов установлено, что введение углеродных материалов, в том числе УНТ, приводит к существенному увеличению площади и толщины каркасного слоя на поверхности горящего топлива с ПХА.

В этой главе также представлены экспериментальные результаты по влиянию различных катализаторов на закономерности горения разработанного высоконаполненного топлива на основе нитрата аммония, и показано существенное влияние углеродных материалов, том числе УНТ, на катализ горения указанного топлива.

Показано, что среди исследованных экологических катализаторов горения топлива с НА наиболее эффективным является салицилат железа (СЖ), который не только увеличивает скорость горения ~ в 2 раза, но и снижает ее зависимость от давления ~ в 1,5 раза. При этом показано, что совместное введение СЖ с УНТ усиливает эффект катализа и снижения показателя « ν ».

В работе особое внимание уделено оценке чувствительности топлива на основе НА к внешним воздействиям, с целью снижения его взрывоопасности. Показано, что для снижения чувствительности к внешним воздействиям, в его состав необходимо вводить до 2% фторопласта марки Ф-4.

Вполне логично, что автор завершил свои исследования с основным выводом о том, что эффективность процесса катализа горения смесевых систем на основе ПХА и неактивного связующего и топлив на основе НА с активным связующим повышается при условии образования на поверхности горящего топлива каркасного слоя, который способствует накоплению на нем частиц катализатора и увеличению теплопередачи от газовой в конденсированную фазу.

В целом полученные автором результаты исследований определяют **научную новизну** работы, которая включает следующие основные положения.

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. Установлено, что катализ горения топлив на основе ПХА происходит при таких же условиях, как для БРТ, т.е. на поверхности горения, образуется сажистый слой, на котором происходит значительное накопление частиц катализатора, которые ускоряют взаимодействие продуктов распада окислителя и горючего и повышают его коэффициент теплопроводности.

Впервые исследованы закономерности катализа горения топлива на основе НА в широком диапазоне давления (0,1-200 МПа) и показано, что салицилат железа является наиболее эффективным катализатором среди изученных экологически безопасных добавок (снижает v от 0,92 до 0,43).

Установлено, что на закономерности горения высокоэнергетического топлива ($T_r = 3298$ К) с 15% металлического горючего и 20% октогена (за счет уменьшения нитрата аммония) катализаторы оказывают слабое влияние из-за ухудшения возможностей образования углеродного слоя. Это происходит

вследствие высокой температуры и повышенной скорости горения, а также накопления металлических частиц на поверхности горения, которые затрудняют доступ реагирующих молекул к катализатору

Достоверность полученных в диссертации результатов обеспечивается применением стандартных методов испытаний, апробированных методик исследований с проведением параллельных экспериментов, а также современных методов анализа и обработки полученных результатов.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что на основании ранее полученных данных по катализу горения баллиститных топлив, различных индивидуальных нитросоединений и данных этой работы по катализу горения смесевых образцов на основе перхлората и нитрата аммония можно полагать, что условия, необходимые для эффективного катализа горения указанных энергетических материалов, являются едиными.

Данный вывод имеет **практическую значимость**, так как понимание единых условий катализа горения энергетических материалов позволяет целенаправленно и с меньшими затратами решать вопросы по регулированию скорости горения составов и снижать зависимость ее от давления для различных систем на основе ПХА и НА.

Диссертация представляет собой целостную законченную научную квалификационную работу, написанную логично, в доступном изложении с использованием современного понятийного и математического аппарата.

Основные положения диссертации изложены в 14 опубликованных научных трудах, в том числе – 4 в рецензируемых изданиях и 1 патенте. Результаты докладывались и получили одобрение на научно-технических конференциях и симпозиумах различного уровня.

Тем не менее, к работе имеются отдельные замечания:

1. Вывод автора о том, что предложенные рекомендации по повышению эффективности катализаторов подходят для всех смесевых твердотопливных систем, не совсем корректен, так как существуют топлива с «эстафетным»

механизмом горения, в которых введение углеродных материалов приводит к снижению скорости горения.

2. Автор в работе ограничился исследованием влияния катализаторов и углеродных материалов на закон горения, при этом было бы целесообразно оценить их влияние на показатель температурной чувствительности скорости горения рассматриваемых топлив.

3. В работе не представлены результаты исследований параметров тепловой волны горения модельных составов на основе НА, что ограничивает представления о механизме горения и катализа указанных топлив.

Указанные замечания, однако, не снижают научной и практической значимости работы в целом. Диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне.

Представление результатов исследований в виде схем, рисунков, таблиц и математического аппарата концентрирует внимание на основных результатах анализа исследуемых процессов и явлений.

Область исследований и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

В целом диссертация Гулакова М.Ю. является законченной научной квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена **научная задача** теоретического обоснования и разработки научно-методического подхода к выбору эффективных катализирующих систем для топлив на основе ПХА и НА с целью обеспечения требуемых значений их баллистических характеристик, имеющая существенное значение для развития теоретических основ механизма катализа горения энергетических конденсированных систем и разработки практических рекомендаций для возможности их применения в изделиях двойного назначения.

На основании изложенного считаю, что диссертационная работа Гулакова Михаила Юрьевича отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103 ОД, а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Официальный оппонент

академик РАН

доктор технических наук, профессор

старший научный сотрудник научно-исследовательского центра

ФГКВОУ ВО «Военная академия РВСН имени Петра Великого

Министерства обороны РФ»

С.А. Гусев

Почтовый адрес 143900, Московская обл., г. Балашиха, ул. Карбышева, д.8.

Контактный телефон 8

14, e-mail: vai

il.ru.

Подпись официального оппонента доктора технических наук, профессора Гусева Сергея Алексеевича заверяю.

Начальник отдела кадров Военной академии РВСН им. Петра Великого

подполковник

Е.В. Иванов

«12» мая 2025 г.