



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ДВОЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ «СОЮЗ»

ОГРН 1245000132937 ИНН 5027333849

Ул. Академика Жукова, д. 42
г. Дзержинский, г.о. Люберцы
Московская обл., Россия, 140090
тел.: 8(495)551-76-00, факс: 8(495)551-11-44
E-mail: soyuz@fedt.ru

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора
по НИР АО «ФЦДТ «Союз»,
доктор технических наук

А.А. Матвеев

05 / 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Гулакова Михаила Юрьевича 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».

Повышение эффективности установок на основе энергетических конденсированных систем (ЭКС) неразрывно связано с улучшением комплекса их баллистических характеристик, включая расширение диапазона регулирования скорости горения, а также снижение её зависимости от давления и температуры. В качестве регуляторов баллистических характеристик ЭКС баллистического типа нашли широкое применение катализаторы горения на основе оксидов металлов переменной валентности и их солей органических кислот, при этом для повышения эффективности

применение катализаторы горения на основе оксидов металлов переменной валентности и их солей органических кислот, при этом для повышения эффективности катализа применяются углеродные материалы различной дисперсности, в том числе углеродные нанотрубки (УНТ). Однако комплексных исследований по влиянию УНТ (и других углеродных материалов) на катализ горения ЭКС смешанного типа на основе окислителя перхлората аммония (ПХА) и нитрата аммония (НА) не проводилось, в связи с этим **актуальность** диссертационного исследования М.Ю. Гулакова не вызывает сомнений.

Целью настоящего диссертационного исследования является установления закономерности катализа ЭКС смешанного типа в обеспечение улучшения комплекса их баллистических характеристик. Другой важной целью автор ставит перед собой разработку ЭКС смешанного типа с повышенным содержанием НА для его использования в гражданских целях. Для достижения указанных целей автор решает **следующие задачи**:

- исследование влияния углеродных материалов на катализ горения ЭКС смешанного типа на основе ПХА и НА;

- исследование влияния состава и содержания катализатора горения (с углеродными материалами и без них) на механизм горения, структуру и состава поверхности горения погашенных при различных давлениях образцов;

- исследование направлений снижения чувствительности к механическим воздействиям ЭКС смешанного типа на основе НА.

Поставленная цель и задачи диссертационной работы определили направление исследований.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографического списка использованных источников из 99 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность и практическая значимость работы, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна, теоретическая ценность и основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** представлен достаточно полный обзор отечественной и зарубежной научно-технической информации по механизму горения ЭКС смесового типа и способам регулирования их скорости горения.

Во **второй главе** описаны объекты и методы исследования. В качестве последних выбраны известные широко применяющиеся в современной исследовательской практике методы.

Третья глава посвящена описанию экспериментальных исследований по влиянию углеродных материалов (углеродных нанотрубок и сажи) на закономерности горения ЭКС смесового типа на основе поливинилбутираля, пластифицированного дибутилфталатом, и ПХА с различным коэффициентом избытка окислителя, а также разработке ЭКС смесового типа на основе НА.

В **четвёртой главе** описаны итоги работы и проведён анализ полученных результатов, показавший, что условия, необходимые для катализа горения ЭКС смесового типа на основе неактивного связующего и ПХА, аналогичны условиям катализа баллиститных топлив и индивидуальных ВВ, содержащих нитро-группы.

В **выводах** сформулированы основные результаты проведённого диссертационного исследования.

Проведённые автором экспериментально-теоретические исследования определяют **научную новизну** работы, включающую следующие положения:

1. Установлены закономерности катализа горения ЭКС смесового типа на основе ПХА, содержащих углеродные материалы. Показано, что при этом так же, как и в ЭКС баллиститного типа, на поверхности горения образуется сажистый каркас, на котором накапливаются частицы

катализатора, ускоряющие взаимодействие продуктов сгорания и повышающие их коэффициент теплопроводности.

2. Установлено, что частичная замена НА на октоген приводит к существенному (в ≈ 3 раза) снижению зависимости скорости горения от давления, при этом использование металлического горючего снижает эффективность действия комбинированного катализатора;

3. В качестве эффективного катализатора горения для ЭКС баллиститного и смесового типов предложен салицилат железа. Показано, что его использование приводит к значительному снижению зависимости скорости горения от давления.

Достоверность полученных в диссертации результатов обеспечивается системностью исследований, обоснованностью принятых допущений, совпадением результатов теоретических расчётов и экспериментальных исследований, а также результатами их применения в прикладных разработках, использованием аттестованных средств измерения, широкой апробацией материалов диссертации на научных конференциях, совещаниях и семинарах.

Работа, несомненно, имеет большую **практическую значимость**, заключающуюся в следующем:

– разработаны ЭКС смесового типа на основе НА с возможностью регулирования скорости горения в широких пределах и пониженной её зависимостью от давления, с низкой чувствительностью к механическим воздействиям и экологически чистыми продуктами горения для использования в различных газогенераторах и ракетах гражданского применения;

– разработаны рекомендации по применению в качестве эффективных катализаторов горения для ЭКС смесового типа на основе НА салицилата железа и оксида меди.

Вклад диссертационного исследования в науку (теоретическая значимость) состоит в:

- развитии современных представлений о механизме действия комбинированного катализатора горения в ЭКС смесового типа;

- установлении закономерностей влияния состава и содержания катализатора горения на баллистические характеристики ЭКС смесового типа;

- изучении влияния содержания октогена и металлического горючего в ЭКС смесового типа на основе НА на эффективность действия комбинированного катализатора горения, а также комплекс характеристик ЭКС (энергетических, баллистических, эксплуатационных).

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Основные результаты диссертационного исследования апробированы на 7 международных и 6 всероссийских конференциях. По материалам диссертации опубликовано 14 печатных работ, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 1 в журнале, индексируемом в международной базе данных Scopus, 1 патент.

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

Тем не менее, работа не лишена отдельных недостатков:

1. Для выявления закономерностей влияния УНТ на баллистические характеристики ЭКС автор исследует процессы горения энергетического состава с различным содержанием как УНТ, так и катализатора ДАФ-2. Однако анализ полученных результатов не приводится.

2. В диссертационной работе с помощью сканирующей электронной микроскопии и рентгеновского электронно-зондового микроанализа подробно изучено влияния содержания и состава

комбинированного катализатора на структуру и элементный состав поверхности горения погашенных при различном давлении образцов ЭКС, при этом обсуждению полученных данных не уделяется должного внимания.

3. Одной из целей своего диссертационного исследования автор ставит разработку ЭКС для гражданского применения, при этом подробно исследуются влияние содержания октогена, металлического горючего и катализаторов горения на баллистические характеристики ЭКС. Однако состав разработанного ЭКС и комплекс его характеристик в работе не приводится;

4. Имеются грамматические и стилистические ошибки и неточности, не всегда соблюдены правила оформления диссертационной работы. Не приведен список использованных сокращений и условных обозначений.

Указанные недостатки не снижают научной и практической значимости диссертационной работы, которая выполнена на высоком научно-техническом уровне.

Тема диссертационной работы, её основные научные положения, результаты и выводы полностью соответствуют паспорту специальности 2.6.12 «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ».

Диссертационная работа М.Ю. Гулакова является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании экспериментальных исследований и теоретического анализа решена **научная задача**, заключающаяся в установлении условий катализа ЭКС смесового типа на основе неактивного связующего и ПХА, которая имеет важнейшее значение в теории катализа высокоэнергетических материалов.

Диссертационная работа соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-

технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом № 103 ОД от 14.09.2023 г. (с последующими редакциями), а её автор Гулаков Михаил Юрьевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12 «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ».

Диссертационная работа М.Ю. Гулакова обсуждена и поддержана на секции № 2 Учёного совета АО «ФЦДТ «Союз» (протокол № 2 от 12.05.2025 г.).

Начальник отделения 22,
кандидат технических наук

К.А. Пчелинцев