АННОТАЦИЯ

диссертационной работы PhD докторанта по образовательной программе «8D07103 Химическая технология взрывчатых веществ и пиротехнических средств».
Бексұлтан Жансая Бексұлтанқызы на тему «Разработка энергоемких систем кумулятивного воздействия»

Общая характеристика работы. В диссертационной работе выполнен комплекс исследований, направленный на разработку и изучение кумулятивных энергетических композитов на основе перхлората аммония (ПА) и карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), модифицированных ионами переходных металлов. Установлены особенности процессов термического разложения и горения таких материалов, а также определено влияние природы катализатора на формирование направленного теплового и реакционно-кинетического отклика системы.

Показано, что взаимодействие ионов Ni^{2+} с функциональными группами КМЦ (–COOH, –OH) приводит к формированию устойчивых координационных комплексов и локальных каталитических центров, которые создают кумулятивные области тепловыделения. Эти структуры способствуют повышению теплопроводности, улучшению однородности композиционного материала и ускорению переноса тепла по его объёму.

Термические исследования (ДСК/ТГА) выявили, что введение никеля снижает температуру начала разложения композиции ПА/КМЦ до 345 °C и увеличивает суммарную степень потери массы до 99,1 %. Каталитическая активность никеля связана с его участием в редокс-переходах Ni^{2}/Ni^{3+} и активацией перхлорат-ионов, что способствует формированию более мощной и концентрированной энергетической волны разложения.

Испытания на горение показали, что никельсодержащий композит (ПА/КМЦ–Ni) демонстрирует более интенсивный и устойчивый тепловой режим: максимальная температура пламени повышается с 1105 °C до 1207 °C, а время достижения T_{max} уменьшается с 5,21 с до 4,38 с. Зафиксирован рост линейной скорости горения на всех уровнях давления при одновременном снижении чувствительности к давлению (n = 0,475 против 0,499 для немодифицированной композиции), что указывает на стабилизацию процесса и увеличение эффективности кумулятивного теплового воздействия.

Актуальность темы исследования. Исследования в сфере твёрдых ракетных топлив остаются чрезвычайно актуальными ввиду растущих требований к надёжности, энергоэффективности и экологической безопасности современных ракетно-космических и оборонных систем. ТРТ являются ключевым компонентом для широкого спектра летательных аппаратов — от космических носителей и спутниковых платформ до тактических ракетных систем, что делает совершенствование их состава и характеристик стратегически важной задачей.

Мировая тенденция к миниатюризации ракетно-космических аппаратов требует создания более эффективных топлив с повышенной энергетической плотностью, улучшенной тепловой стабильностью и возможностью точного прогнозирования параметров горения. Это обеспечивает рост тяговых характеристик при одновременном снижении массы ракетных систем.

Технические требования к безопасности эксплуатации и хранения топлив стимулируют разработку менее чувствительных и более стабильных композитов. Повышение устойчивости к внешним воздействиям, снижение опасности самопроизвольного разложения и прогнозируемость поведения в широком диапазоне температур являются критически важными факторами для практического применения.

Стремительное развитие технологий аддитивного производства, использование катализаторов, ингибиторов горения, использование наноматериалов и функциональных связующих открывает новые направления для исследователей. Модификация композиционных матриц, внедрение высокоэффективных катализаторов, улучшение теплопередачи и управление микроструктурой позволяют продвигаться к созданию «умных» топлив с регулируемыми характеристиками горения.

Наконец, исследования в области ТРТ имеют высокую значимость для развития национальной и международной космической инфраструктуры

Цель работы: Целью диссертационной работы является разработка и исследование композиционных энергоёмких материалов кумулятивного типа на основе ПА и КМЦ, модифицированных переходными металлами, установление закономерностей их термического разложения, горения и каталитического воздействия ионов металлов на процессы энерговыделения.

Задачи работы. Для достижения цели в диссертационной работе были поставлены следующие задачи:

1.Исследовать механизмы формирования полимерных матриц на основе КМЦ с доппированными наночастицами переходных металлови выявить роль координационных связей типа Ni–O–C в обеспечении управляемого тепловыделения

2. Установить влияние никельмодифицированных структур ПА/КМЦ–Ni на образование активных зон кумулятивного каталитического действия и определить, каким образом узлы типа Ni–O–C обеспечивают ускорение процессов термического разложения, на основефизико-химических характеристик полученных композитов

3. Проанализировать влияние координационных центров Ni на тепловую динамику устойчивого горения ПА/КМЦ определить механизмы усиления теплового режима в процессе термического разложения методом ДСК, ДТГ и ТГА.

4. Разработать и обосновать методологические принципы модификации КМЦ ионов переходных металлов, обеспечивающие контролируемое формирование кумулятивных зон теплового воздействия в энергоёмких

композиционных системах, и определить их роль как технической основы для проектирования материалов с направленным и предсказуемым тепловым откликом.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Полимерные матрицы на базе КМЦ и соединений переходных металлов с координационными типами связи Ni–O–C обеспечивают управляемое тепловыделение с энергиейЕсв =850-866эВ и формируют кумулятивный тепловой отклик в энергоемких композитах при K≈1,8–1,9

2. Никельмодифицированные композиции ПА/КМЦ–Ni с активными зонами кумулятивного каталитического действия ускоряют разложение энергоемких компонентов до 31°C за счёт образования узлов Ni–O–C приΔT= 376 °C до 345 °C с потерей массы до 99,1 % при максимальной энергетической плотности системы $E^{Ni}_{пл}$≈1.64 кДж/г

3. Ni-координационные центры усиливают тепловую динамику горения энергоемких систем с 1105 °C до 1207 °C при эффективном коэффициенте ускорения теплового режима $K_{разгон}$≈1,20 с сокращением времени достижения температурного максимума до ~1 секунд

4. Методология модификации КМЦ переходными металлами обеспечивает управляемое формирование кумулятивных зон теплового воздействия в энергоемких системах и техническую основу для проектирования энергоемких композитов с направленным и предсказуемым тепловым откликом в термически активных энергоемких топливах.

Объект исследования. Объектом исследования являются композиционные энергетические материалы кумулятивного типа, состоящие из ПА как окислителя и КМЦ) как органического связующего, модифицированные ионами переходных металлов (Ni^{2+}, Co^{2+}, Cu^{2+}, Fe^{3+}).

Предметом исследования. Предметом исследованияявляются основные закономерности процессов оптимизации характеристик горения композитов на основе перхлората аммония с использованием карбоксиметилцеллюлозы допированной оксидами переходных металлов.

Для экспериментальной оценки работоспособности разработанных ТРТ проведены лабораторные эксперименты по сжиганию образцов при различных начальных давлениях (1-10 МПа) для определения скорости горения и степени экспоненты давления влияющая на безопасную работоспособность ТРТ.

Методы исследования. Морфология и структурные свойства полученных материалов были изучены с помощью СЭМ/ЭДС,РСА, РФЭС, ИК и Рамановской спектроскопии. Кинетические исследования были проведены методом дифференциального термического анализа. Термически

анализ объединяет в себя несколько методов исследовании таки как ДСК, ДТГ и ТГА и т.д.

Научная новизна исследования:

1. Впервые установлены закономерности перераспределения тепловой энергии Ni–O–C в полимерной матрице КМЦ, обеспечивающие контролируемое тепловыделение с характерными энергетическими параметрами (Есв =850-866эВ)
2. Выявлен каталитический эффект зон Ni–O–C в композициях ПА/КМЦ–Ni, приводящий к ускорению термодеструкции энергоёмких компонентов с 376 °C до 345 °C, что демонстрирует новый механизм влияния координационных металлополимерных узлов на тепловые процессы.
3. Впервые установлено усиление тепловой динамики горения под действием Ni-координационных центров, приводящее к росту максимальной температуры пламени до 1207 °C и сокращению времени достижения температурного максимума до ~1 секунд, что позволяет рассматривать такие центры как активные модуляторы теплового режима высокоэнергетических систем.
4. Разработан комплекс методологических принципов модификации КМЦ ионами переходных металлов, обеспечивающий управляемое формирование кумулятивных зон теплового воздействия и создающий научную основу для проектирования энергоёмких композитов с предсказуемым и направленным тепловым откликом.

Теоретическая значимость. Представлены научно обоснованные критерии, определяющие выбор химических составов, обладающих маркирующими свойствами, установлены методы введения марркирующих добавок в составы взрывчатых веществ и последледующей их идентификации, подтверждено отсутствие негативного влияния маркирующих добавок на эксплуатационные характеристики взрывчатых веществ, в том числе в части их безопасного использования.

Полученные термо-кинетические данные предоставляют знание о произошедших преобразованиях, таких как фазовые переходы, разложение, плавление, кинетику и термическую стабильность разработанных ТРТ.

Установленная степень каталитической активности катализаторов теоретически описывают модель разложения ПА в зависимости от вида катализатора.

Изучение газообразных и конденсированных продуктов горения и разложения определяют механизм химического превращения энергоемких составов и степень влияния КМЦ с различными переходными металлами на эффективность горения ТРТ

Практическая значимость. Республика Казахстан обладает одним из лучших космодром «Байқоңыр» и имеет потенциал к инвестиционному интересу инвесторов для реализации международных космических программ,

о чем свидетельствует стратегия космической реформы «Казахстан-2050».Новому Казахстану необходимы новые проекты квалифицированные кадры для плодотворных научных исследовании на международном уровне в данной области.

Апробация работы. Результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих международных, республиканских научно-технических конференциях и симпозиумах:

1.Zhansaya Beksultan, Marat Nurguzhin, Marat Janikeyev, Myrzakhan Omarbayev, Azira Yermakhanova, Mohammed Meiirbekov, Miras Zhumakhanov, Aidos Lesbayev, Darkhan Yerezhep, Meiram Atamanov, Marat Tulepov, Optimizing Combustion Characteristics of Ammonium Perchlorate Composites with Nickel-Enhanced Carboxymethyl Cellulose. Aerospace. 2025, 12(4), 270; https://doi.org/10.3390/aerospace12040270

2. Marat Tulepov, Larissa Sassykova, Dauren Baiseitov, Bibigul Rakhimova , Fedosya Abdrakova , Galiya Spanova, Sestager Aknazarov, Zhansaya Beksultan Synthesis and optimization of combustion of briquettes based on substandard brown coals of Kazakhstan deposits with multipolymer binders Mediterranean Journal of Chemistry 2020, 10(3), 302-309 DOI:10.13171/mjc02003271253ls

3. Ж.Б. Бексултан, М.И. Тулепов, М.К. Атаманов, Разработка эластичного кумулятивного заряда на основе гелеобразующих веществ, Горение и плазмохимия. -2020.-№3. – С. 132-140 DOI: https://doi.org/10.18321/cpc361

4. F.Yu. Abdrakova, M.I. Tulepov, D.A. Baiseitov Zh.B. Beksultan, M. Chikhradze Localization of explosion pulses in a closed space in coal mines Горение и Плазмохимия 19 (2021) 131-138 https://doi.org/10.18321/cpc426

5. М.И. Тулепов, Ж. Бексултан, Ш.Е. Габдрашова, Д.А. Байсейтов, И.А. Пустовалов, С. Алешкова Экспериментальное определение показателей безопасности эмульсионных взрывчатых веществ, содержащих в качестве маркирующей добавки органические красители, Горение и Плазмохимия 19 (2021) 35-41 https://doi.org/10.18321/cpc408

6. Тулепов М.И., Бексултан Ж.Б. Разработка энергоемких систем кумулятивного воздействия "Химические проблемы современности" г. Донецк, 19-21 мая 2020г.

7. Ж.Б.Бексултан, М.И. Тулепов, М.К.Атаманов, Ш.Т. Султахан, Приготовление карбоксиметилцеллюлозы, допированной оксидами переходных металлов для эффективного сгорания топлива на основе перхлората аммония “Химиялық физика және наноматериалдар” атты VII Жас Ғалымдар Конференциясының Еңбектер Жинағы, 2020г.

9. Ж.Б.Бексултан, М.И. Тулепов, М.К.Атаманов, Энергетические конденсированные системы, Монография Белая книга по энергоемким материалам. Алматы ТОО «Издательство Дарын». -224.- 264 с.

10. Bexultan Zh.B., Korchagin M.A., Sassykova L.R., Abdrakova F.Y., Aitenov Y.K., Toktagul S.E., Baiseitov D.A. Gabdrashova S.E., Development of pyrotechnic delay mixtures based on a composite material hardened with carbon

nanotubes. Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures. 2021. V. 16, Iss. 4, P 1341 – 1350. DOI:10.15251/DJNB.2021.164.1341

11. Ж.Б.Бексултан, М.И. Тулепов, М.К.Атаманов, Разработка эластичного кумулятивного заряда на основе гелеобразующих веществ сборник трудов международного казахстанско-российского симпозиума «Химическая физика и наноматериалы», Казахстан, издательство: «Қазақ университеті» 2021г.

Личный вклад автора. Личный вклад автора заключается в постановке и проведении экспериментов, обобщении и интерпретации полученных результатов, написании статей и отчетов. Цель и задачи, планирование экспериментов, обсуждение результатов и основные положения к защите были обсуждены с обоими научными консультантами.

Публикации. Основные итоги диссертационной работы были опубликованы в 11 печатных работах, из них 1 статьи, входящие в базу данныхWeb of Science**,** 3 публикации были опубликованы в изданиях, рекомендованных Комитетом обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК, 1 монография, 6 – в сборниках международных симпозиумов и зарубежных конференций.

Связь с научно-исследовательскими работами и государственными программами. Тема представленной к защите диссертации «Разработка энергоемких систем кумулятивного воздействия», выполнена по инициативе автора диссертационной работы.

Объем и структура работы. Диссертационная работа изложена на 115 страницах и включает 47 рисунков и 14 таблиц. Работа состоит из введения, обзора литературы, описания объектов и методов исследования, результатов и их обсуждения, заключения и списка использованных источников из 149 наименования.