

**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

Зар Ни Аунг, выполненной на тему

«Закономерности влияния катализаторов на горение энергонасыщенных
материалов различного строения, содержащих нитрогруппы», представленной
на соискание ученой степени

кандидата технических наук по специальности

02.06.12 - Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ

Тенденции расширения областей применения энергонасыщенных материалов, к числу которых относятся баллиститные пороха (БП) в качестве ракетных твёрдых топлив, объективно диктуют необходимость глубокого научного и инженерного обоснования возможности эффективного управления процессом их горения. Накопленный обширный материал по теории и практике регулирования баллистических характеристик БП является основой при выборе методов управления процессом горения высококалорийных композиций.

Наряду с многочисленными исследованиями закономерностей горения БП на основе компонентов с повышенной энергетической плотностью, к малоизученным относятся вопросы установления закономерностей и механизма горения высококалорийных баллиститных топлив. Основным препятствием на пути к широкому практическому применению БП является отсутствие научно обоснованных рекомендаций по выбору высокоэффективных модификаторов горения таких композиций с учетом их компонентного состава.

Проведенные ранее исследования показали, что использование традиционных методов регулирования комплекса характеристик БП не обеспечивает возрастающие требования к параметрам их горения. Во многом это было связано с отсутствием эффективных методов воздействия на окислительно-восстановительные процессы в конденсированной фазе волны горения с последующим диспергированием первичных продуктов горения в газовую зону.

Учитывая развиваемые в настоящее время подходы к регулированию баллистических характеристик энергоёмких композитов путём применения модификаторов различной природы, фазового состояния и дисперсности, вполне реальным представляется применение в составах баллистических порохов таких веществ, которые обладают повышенной теплопроводностью и каталитическим воздействием на термолиз основных компонентов БП, изменяя структуру волны горения пороха.

Современные методы позволяют более глубоко исследовать закономерности влияния природы и содержания модификаторов горения на комплекс характеристик порохов и разрабатывать на основе этих знаний рекомендации по их применению для расширения пределов регулирования скорости горения и её зависимости от давления.

Однако для практической реализации новых классов химических соединений и веществ как средства регулирования баллистических характеристик порохов потребовалась разработка научно обоснованного подхода к изучению механизма и установлению зоны влияния катализаторов на кинетику термолиза основных компонентов.

В связи с этим не вызывает сомнений **актуальность** темы диссертационной работы Зар Ни Аунг, **целью** которой является установление закономерностей, выявление особенностей механизма и поиск эффективных комбинированных катализаторов горения баллистических порохов, содержащих нитрогруппы.

Для достижения поставленной цели автором изучено влияние ряда индивидуальных и комбинированных катализаторов, содержащих медь, свинец и никель (салицилаты никеля (СН) и меди (СМ), а также фталат меди-свинца (ФМС)) в сочетании с различными углеродными добавками (сажа (УМ-76) и углеродные нанотрубки марки Т-МД), на баллистические характеристики порохов различного состава. Проведена оценка влияния различных комбинаций СН, СМ и ФМС в сочетании с углеродными добавками на скорость горения модельных порохов, установлено влияние различных катализаторов и углеродных материалов на термическое разложение топлив и его компонентов, содержащих NO₂ группы (ароматических нитросоединений (тринитробензол (ТНБ), тринитротолуол (ТНТ), тринитрофенол (ТНФ), тринитрорезорцин (ТНР)), динитрофенол (ДНФ)), нитраминов (нитрогуанидин (НГУ), октоген (НМХ)) и нитроэфиров (тетранитропентаэритрит (ТЭН), нитроцеллюлоза (коллоксилин и пироксилин №1), существенно различающихся между собой по термической устойчивости, по скорости и температуре горения). Определено влияние комбинированного катализатора на параметры волны горения топлив различного состава, при этом автором были использованы различные расчётно-экспериментальные методы и методики исследования. В частности скорость

горения определялась на бронированных образцах в приборе постоянного давления в атмосфере азота с регистрацией времени горения по сигналу датчика давления, температурный профиль в волне горения образцов определялся с использованием вольфрам-ренийевых ленточных микротермопар, электронно-микроскопические исследования проводились с помощью сканирующего электронного микроскопа, параметры разложения ВВ определялись с использованием калориметра DSC, температура вспышки ВВ и время её задержки изучалась в термостате с использованием таблеток, которые расплавлялись в пробирке, влияние катализаторов на химическую стойкость ВВ определялось в приборе со стеклянным манометром типа Бурдона.

По результатам исследований предложена уточненная модель катализа горения различных энергетических материалов, в соответствии с которой тепловыделение происходит в результате окислительно-восстановительных реакций, протекающих по единому механизму: формирование на поверхности горения углеродного каркаса, на котором частицы катализатора интенсивно накапливаются и обеспечивают полноту энерговыделения в волне горения.

Диссертация состоит из введения, литературного обзора, методической и экспериментальной части, обсуждения результатов, выводов, списка литературы, включающего 82 источника, в том числе 13, автором которых по теме является Зар Ни Аунг.

Основные научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором при проведении исследований, отражают новизну работы и свидетельствуют о ее практической значимости.

В литературном обзоре автором проанализированы имеющиеся представления о механизме катализа горения порохов и взрывчатых веществ (ВВ), регулировании зависимости скорости горения от начальной температуры заряда, особенностях термического разложения компонентов, содержащих NO₂ группы, и порохов, свойствах углеродных наноматериалов и сформулированы задачи на исследования.

В экспериментальной части работы представлены результаты оценки влияния различных индивидуальных модификаторов на горение веществ, содержащих NO₂ группы. По результатам проведенных исследований автором установлено, что катализаторы в индивидуальном виде (3%) либо не влияют на скорость горения ВВ (с высокой скоростью и температурой горения), либо эффективность их действия мала.

Установлено, что в катализе горения всех веществ особую роль играет сажа, и особенно углеродные нанотрубки (УНТ). В их присутствии наблюдается значительное (в 1,8-4,26 раз) увеличение скорости горения для всех веществ и всех катализаторов. При этом для исследованных веществ зависимость

эффективности действия катализаторов от соотношения их с сажей и УНТ имеет экстремальный характер.

Автором установлено, что эффективность действия всех катализаторов уменьшается с ростом давления, а показатель „ v ” в законе горения снижается в 1,5 – 4 раза.

К значимому результату, полученному автором, следует отнести установленное значительное (от 2,4 до 7 раз) увеличение коэффициента теплопроводности каркаса для ТНФ и ТНР (λ каркас) в результате накопления частиц никеля и УНТ по сравнению с λ зоны над поверхностью горения образцов без добавок при давлении 2 МПа. С использованием полученных результатов автором рассчитан тепловой баланс к-фазы при горении образцов ТНР ТНФ и ТНТ, из которого следует, что основное количество тепла ($\geq 80\%$), необходимого для поддержания горения, поступает в к-фазу из каркаса, т.е. эта зона является ведущей и определяет скорость горения.

В целом по результатам проведенных исследований и ранее полученных данных для БП различного состава автором сделан вывод о том, что катализ горения для всех ЭМ, при горении которых тепловыделение происходит в результате окислительно-восстановительных реакций, протекает по единому механизму. По мнению Зар Ни Аунг предложенный механизм катализа горения позволяет целенаправленно компоновать различные топлива с регулируемой скоростью горения и зависимостью её от давления и начальной температуры заряда.

В целом полученные результаты исследований, отличающихся новизной, следует рассматривать как значительный вклад в теорию горения и разработку методов регулирования баллистических характеристик энергоёмких материалов, содержащих нитрогруппы.

Научную новизну работы составляют:

установленные закономерности влияния состава энергонасыщенных материалов различного строения, содержащих нитрогруппы, и условий их функционирования, состава комбинированных катализаторов на структуру сажистого каркаса на поверхности горения и его роли в формировании закона горения и температурного профиля в волне горения;

уточнённая модель формирования на поверхности горения энергонасыщенных материалов различного строения, содержащих нитрогруппы, более плотного каркаса при использовании сажи и углеродных нанотрубок в составе комбинированных модификаторов, в зоне которого многократно увеличивается скорость тепловыделения, что приводит к увеличению градиента температуры над поверхностью горения и поступлению из зоны каркаса до 80-90% количество тепла, необходимого для распространения горения.

Практическая значимость работы несомненна и заключается в возможности выбора эффективных комбинированных модификаторов горения порохов, обеспечивающих оптимальные уровни скорости горения и ее зависимости от давления и температуры с учетом функционального предназначения пороховых зарядов и природы основных компонентов.

Достоверность полученных в диссертации результатов обеспечивается системностью исследований, обоснованностью принятых допущений, использованием современных методов физико-химических исследований, совпадением результатов теоретических расчетов и экспериментальных исследований, а также положительными результатами их применения в прикладных разработках, использованием аттестованных средств измерений, широкой апробацией материалов диссертации на научных конференциях, совещаниях и семинарах.

Вклад диссертации Зар Ни Аунг в науку состоит в комплексном решении вопросов управления процессом горения применением комбинированных модификаторов в порохах различного функционального назначения, содержащих энергоёмкие вещества с нитрогруппами, для расширения диапазона регулирования их баллистических характеристик.

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 13 опубликованных научных трудах, докладывались и получили одобрение на международных и всероссийских научно-технических конференциях.

Тем не менее, по материалам, изложенным в диссертации, имеется ряд замечаний:

1. В диссертации отмечается, что наибольшее влияние на скорость горения большинства исследованных ВВ оказывает салицилат никеля в сочетании с УНТ, но не раскрывается причина этого.

2. Вероятно, целесообразно было бы исследовать влияние катализатора в сочетании с УНТ на температурный профиль волны горения не на двое ароматических нитросоединения, а на одно (ТНР) и получить данные для НГУ, свойства которого значительно отличаются от свойств ароматических соединений.

3. В работе не дано объяснения, почему для одних ВВ зависимость значения показателя увеличения скорости горения от соотношения катализатора с УНТ имеет ярко выраженный максимум, а для других – очень слабый (растянутый).

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 и таблиц концентрирует внимание на основных результатах анализа исследуемых процессов и явлений.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

В целом диссертация Зар Ни Аунг является законченной научной квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложено решение **научной задачи** научно-технического обоснования направлений регулирования баллистических характеристик энергонасыщенных материалов различного строения, содержащих нитрогруппы, путём применения комбинированных модификаторов, имеющее значение для развития теории горения в области специальной технической химии.

На основании изложенного считаю, что диссертация соответствует паспорту специальности 2.6.12 «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ» и требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор – Зар Ни Аунг заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор

старший научный сотрудник научно-исследовательского центра

ФГКВОУ ВО «Военная академия РВСН имени Петра Великого

Министерства обороны РФ»

Павловец Георгий Яковлевич

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

Контактный телефон 8(985)9284514, e-mail: varvsn@mil.ru.

Подпись официального оппонента доктора технических наук, профессора Павловца Георгия Яковлевича заверяю.

Начальник отдела кадров Военной академии РВСН им. Петра Великого

Е.В. Иванов

«24» июля 2023 г.

