

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

---

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

Экз.№ 1

**ОТЗЫВ**

официального оппонента

доктора технических наук, профессора Павловца Георгия Яковлевича  
о диссертационной работе Нгуен Зюи Туан,  
выполненной на тему «Изучение закономерностей и механизма горения  
энергонасыщенных систем на основе нитратов различных металлов»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.17.07 «Химическая технология топлива и  
высокоэнергетических веществ»

Тенденции расширения областей применения энергонасыщенных систем (ЭС) объективно диктуют необходимость глубокого научного и инженерного обоснования выбора методов регулирования комплекса их характеристик. Масштабность проблемы определяется тем, что возросший уровень требований к баллистическим и специальным характеристикам и свойствам ЭС практически не обеспечивается традиционными методами и компоновкой рецептур.

К числу таких композиций относятся аэрозолеобразующие топлива (АОТ), пиротехнические смеси (ПС), фейерверочные изделия различных цветов свечения и системы, генерирующие инфракрасные помехи, в состав которых входят нитраты щелочных и щелочноземельных металлов. При этом эффективность ЭС определяется главным образом свойствами продуктов их горения, уровнем скорости горения и её зависимости от давления.

Обеспечить необходимый уровень характеристик ЭС на основе щелочных и щелочноземельных металлов в зависимости от их функционального назначения возможно за счет оптимизации рецептуры композиций и применения модификаторов горения. Следует отметить, что на период постановки диссертационных исследований процесс горения ЭС на основе нитратов щелочных и щелочноземельных металлов был малоизученным, за исключением пиротехнических составов, содержащих нитраты натрия и калия.

Современные методы исследований позволяют более глубоко изучать механизм превращения основных компонентов ЭС в волне горения и разрабатывать на основе этих знаний рациональные способы управления быстропотекающими процессами горения, характеристиками композиций путем направленного применения модификаторов их свойств.

Однако для практической реализации указанного подхода применительно к составам на основе нитратов щелочных и щелочноземельных металлов потребовалась разработка научно обоснованных методов воздействия на процессы взаимодействия первичных продуктов термолитического разложения в конденсированной фазе волны горения энергонасыщенных систем.

В целом анализ сложившейся ситуации в области развития теории горения ЭС с использованием нитратов различных металлов однозначно свидетельствует о том, что тема диссертационной работы Нгуен Зюи Туан

безусловно **актуальна**. Автор обосновал выбор темы исследований, **целью** которых явилось установление закономерностей и механизма горения энергонасыщенных систем на основе нитратов различных металлов (K, Na, Cs, Ba, Sr, Pb) в широком диапазоне давления от 0,1 до 18 МПа.

Достижение поставленной цели обеспечивается решением задач, сформулированных автором.

Диссертация состоит из введения, литературного обзора, экспериментальной части и обсуждения результатов, выводов и списка использованных источников из 147 наименований.

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

Автором по результатам анализа влияния различных факторов на горение смесевых систем показано, что необходимо проведение системных исследований закономерностей и механизма горения энергонасыщенных материалов на основе нитратов различных металлов. Сформулированы направления исследований, обеспечивающих установление закономерностей и механизма горения смесевых систем на основе различных нитратов. При этом одной из актуальных задач, требующих теоретических и практических исследований, является поиск путей увеличения скорости горения при атмосферном давлении аэрозолеобразующих топлив с повышенной огнетушащей способностью.

В работе аргументировано обоснованы методики изготовления образцов, определения их скорости горения в бомбе постоянного давления, температуры и температурного профиля в волне горения образцов, термогравиметрического анализа (ТГА) и определения огнетушащей способности (ОТС) образцов. Использование данных методик позволило автору установить влияние природы, содержания и дисперсности компонентов и модификаторов горения на баллистические характеристики

ЭС, в том числе с использованием нанокomпонентов, в интересах разработки новых эффективных методов регулирования скорости горения композитов и её зависимости от давления.

Автором в результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что горение энергонасыщенных систем на основе одинакового горюче-связующего и различных неорганических нитратов (K, Na, Cs, Ba, Sr, Pb), отличающихся по расчётной температуре горения за счёт изменения соотношения между окислителем и горючим, характеризуемого коэффициентом обеспеченности окислительными элементами ( $\alpha$ ), протекает в большинстве своём при атмосферном давлении, но с различными скоростями, зависящими от природы катиона и от отношения окислителя и горючего. Наибольшую линейную скорость горения при всех давлениях и при различном значении  $\alpha$  имеют составы на основе  $\text{KNO}_3$ .

Показано, что при экстремальном характере для большинства образцов максимум скорости горения при всех давлениях достигается при значении  $\alpha$  в диапазоне 0,6-0,8, при этом зависимость скорости горения от давления состоит из двух участков: в области пониженного давления величина показателя в законе горения  $v$  значительно (в 2 и более раз) меньше, чем в области повышенного давления.

Отличительной особенностью горения образцов на основе нитратов щелочных и щелочноземельных металлов при атмосферном давлении являются высокое значение температуры поверхности горения (выше 1200 K) и узкая газовая зона горения. В работе показано, что скорость горения систем определяется реакциями в к-фазе, в которой выделяется более 79% тепла, необходимого для поддержания горения.

На скорость горения базовых образцов при введении металлического горючего влияет скорость горения базового образца, катион нитрата, природа металла, его количество и дисперсность, а также давление, при котором происходит горение.

По результатам исследования показано, что салицилат меди в наибольшей степени увеличивает скорость горения образцов на основе нитратов K и Na, а углеродные нанотрубки (УНТ) - образцов на основе нитратов Ba и Sr, салицилат Cu совместно с сажей и УНТ воздействует на скорость горения образцов близко к аддитивной величине.

Вполне логичным является завершение исследований разработкой быстрогорящих АОТ на основе  $KNO_3$  или его смеси с  $KClO_4$ , скорость горения которых при атмосферном давлении равна 8-18 мм/с и слабо зависит от давления: значение показателя в законе горения  $v \leq 0,25$  в интервале 0,1-2 МПа.

Выявленные и представленные в работе закономерности влияния нитратов щелочных и щелочноземельных металлов, а также модификаторов на комплекс характеристик ЭС являются определенным вкладом в развитие теории горения энергетических конденсированных систем в широком диапазоне значений давления и коэффициента обеспеченности окислительными элементами.

К новым научным результатам, полученным автором и составляющим **научную новизну** работы, следует отнести:

установленные закономерности изменения скорости горения композиций на основе нитратов щелочных и щелочноземельных металлов, заключающиеся в экстремальном характере её значений в зависимости от коэффициента обеспеченности окислительными элементами  $\alpha$ , группы металлов в нитратах и диапазона давлений;

в отличие от классических представлений о температуре поверхности горения не более 800K и доле тепла, выделяющегося в ж-фазе при горении гетерогенных систем и составляющего не более 50% от суммарного тепловыделения при горении традиционных композиций, установлена особенность горения систем на основе нитратов K, Na, Cs, Ba, Sr при атмосферном давлении, заключающаяся в высокой (более 1200K)

температуре поверхности горения и более 80% тепла, выделяющегося в к-фазе, от суммарного количества тепла, необходимого для поддержания горения;

установленный селективный характер влияния салицилата меди, сажи и УНТ на скорость горения композиций в зависимости от группы металлов в нитратах и отсутствие синергизма при совместном использовании модификаторов горения.

Достоверность полученных в диссертации результатов обеспечивается системностью исследований, обоснованностью принятых допущений, строгостью математического описания моделей, совпадением результатов теоретических расчетов и экспериментальных исследований, а также результатами их применения в прикладных разработках, использованием аттестованных средств измерений, апробацией материалов диссертации на научных конференциях, совещаниях и семинарах.

**Практическая значимость** работы заключается в том, что на основании разработанных методов регулирования баллистических характеристик энергетических систем на основе нитратов металлов предложены рецептуры быстрогорящих аэрозолеобразующих топлив с повышенной огнетушащей способностью, регулируемой в широких пределах скоростью горения при атмосферном давлении (от 8 до 18 мм/с) и низкой зависимостью ее от давления в интервале до 1-2 МПа, что позволит при их применении в генераторах оперативного действия обеспечить быстрое заполнение аэрозолем защищаемых объектов, в том числе продуваемых воздухом, а высокая скорость таких топлив позволит использовать заряды торцевого горения при повышенной плотности заряжания генератора и оптимизации его конструкции.

Вклад диссертации Нгуен Зюи Туан в науку состоит в комплексном решении вопросов управления процессом горения энергетических систем на основе нитратов щелочных и щелочноземельных металлов.

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

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Тем не менее, к работе имеется ряд замечаний:

1. При анализе механизма горения было бы целесообразным рассмотреть взаимосвязь температуры и состава продуктов термолитизации нитратов металлов и их взаимодействия с компонентами составов в к-фазе волны горения.

2. Автором установлен экстремальный характер зависимости скорости горения составов, содержащих нитраты металлов, однако должного объяснения данному явлению в работе не представлено.

3. При введении в состав энергетических систем нанодисперсных сажи и УНТ в качестве модификаторов требуются особые технологии, обеспечивающие их равномерное распределение в структуре композиции. В материалах диссертации не отражено, каким методом контролировалось распределение нанодисперсных модификаторов в исследованных составах при изготовлении зарядов.

Указанные замечания 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.

В целом диссертация Нгуен Зюи Туан является законченной научной квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная задача научно-технического обоснования направлений регулирования баллистических характеристик энергетических систем на основе нитратов щелочных и щелочноземельных металлов и

технологии их формирования, имеющих существенное значение для развития теории горения в области специальной технической химии.

Область исследований и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 05.17.07 – Химия и технология топлив и специальных продуктов.

На основании изложенного считаю, что диссертация Нгуен Зюи Туан удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.07.

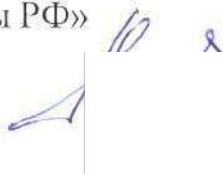
Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор

старший научный сотрудник научно-исследовательского центра

ФГКВОУ ВО «Военная академия РВСН имени Петра Великого

Министерства обороны РФ»



Г.Я. Павловец

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  
подполковник



Е.В. Иванов

«31» мая

2021 г.