

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Комракова Петра Владимировича

на диссертационную работу **Нгуен Зюи Туан «Изучение закономерностей и механизма горения энергонасыщенных систем на основе нитратов различных металлов»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.07 - Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ

Актуальность и степень разработанности темы исследования

Общеизвестно, что процесс горения используется человеком с давних времен для самых разнообразных целей. Масштабы применения этого процесса поистине громадны: например, более 80% энергии, используемой в технике и в жизни вырабатывается при использовании процессов горения газовых смесей, жидкостей и твердых веществ.

Существуют различные виды и режимы горения. Среди них особое место занимает горение энергонасыщенных веществ (пороха, твердые ракетные топлива, пиротехнические составы). Поэтому понятно, что изучению горения, являющимся сложным самораспространяющимся процессом, уделяется постоянное внимание как в научном, так и в практическом плане для разработки энергонасыщенных материалов с возможностью регулирования скорости их горения и зависимости ее от давления и от начальной температуры заряда. В этом направлении в мире проведены масштабные исследования, в том числе на ИХТ факультете РХТУ им. Д.И. Менделеева. Однако, до сих пор в литературе мало данных по горению энергонасыщенных составов на основе неорганических нитратов, кроме составов на основе нитрата калия и аммония.

Это затрудняет разработку пиротехнических композиций с регулированием скорости горения в различном диапазоне давления. Поэтому тема диссертации, целью которой является исследование горения систем на основе одного и того же горючего-связующего (ФФС пластифицированная ДБФ) и различных нитратов K, Na, Cs, Ba, Sr и Pb, однозначно является актуальной. Для исследуемых составов удачно выбраны горюче-связующее и способ изготовления образцов с использованием вальцевания и проходного прессования. Это позволило получать однородное распределение окислителя в образцах и обеспечить высокую и постоянную плотность зарядов и их повышенные механические характеристики. Последнее упростило подготовку образцов к эксперименту и сократило сроки их получения и обеспечило воспроизводимость результатов.

Для выяснения закономерностей и механизма горения смесевых систем на

основе различных нитратов диссертант наметил правильный и широкий план:

- рассчитать термодинамические характеристики всех составов с различным коэффициентом избытка окислителя α и при различном давлении;
- экспериментально исследовать зависимость скорости горения систем существенно от давления в широком его диапазоне при разном значении коэффициента избытка окислителя α и дисперсности окислителя;
- определить зависимость экспериментальной температуры горения систем от значения α и давления;
- определить параметры в волне горения систем для установления ведущей стадии в процессе горения;
- изучить влияние металлических горючих (алюминия и его сплава с магнием) на скорость горения исследуемых систем.
- изучить катализ горения систем.
- установить принципы компоновки высокоскоростных аэрозолеобразующих топлив при хорошей их огнетушащей способности и получить составы, заряды которых можно получать методом проходного прессования.

Научная новизна работы и практическая значимость

Диссертант успешно выполнил намеченный план, в результате чего получил надежные результаты, обладающие научной новизной и имеющие практическую значимость. Новые научные результаты заключаются в следующем:

- показано, что скорость горения изученных систем зависит от катиона металла нитрата, коэффициента избытка окислителя α и давления отличаются по скорости горения и по зависимости её от давления;
- установлена экстремальная зависимость скорости горения от α ; составлен ряды по убывающей скорости горения образцов: наибольшую линейную скорость горения при всех α и при всех давлениях имеют образцы на основе KNO_3 ;
- экспериментально определена температура горения изученных образцов: показано, что она зависит от катиона нитрата, от величины α и от давления, и может быть ниже или равной расчетному значению;
- изучен температурный профиль в волне горения систем на основе нитратов K, Na, Cs, Ba, Sr при атмосферном давлении. Получено, что эти системы имеют высокое значение температуры поверхности горения ($>1200K$), которая намного превышает температуру поверхности баллистических порохов. Скорость их горения определяется в к-фазе;

- установлены закономерности горения металлизированных систем на основе нитратов K, Na, Cs, Ba, Sr. Получено, что металлическое горючее оказывает различное влияние на скорость горения базовых систем;

- изучено влияние катализаторов, углеродных материалов и комбинированного катализатора в сочетании углеродных материалов на скорость горения систем. Установлено, что эффективность их действия имеет сложный характер и зависит от многих факторов;

- предложены быстрогорящие аэрозольобразующие топлива с высокой огнетушащей способностью, которые можно использовать в защищаемых объектах, в том числе продуваемых воздухом.

Основное содержание диссертационной работы и ее завершенность

Диссертация изложена грамотно на 152 страницах машинописного текста, содержит 41 рисунок и 48 таблиц. Она состоит из введения, литературного обзора, методической части, экспериментальных результатов и их обсуждения, выводов и списка литературы. Библиографический список состоит из 147 наименований.

Во **введении** диссертант обосновывает актуальность, научную новизну и практическую значимость, цели и задачи исследования.

В **литературном обзоре** отражены области применения энергонасыщенных систем на основе различных нитратов. Проанализировано влияние различных факторов на горение смесевых систем. Рассмотрены закономерности и механизм горения энергонасыщенных материалов на основе нитратов различных металлов. Литературный обзор завершен задачами исследовательской работы.

В **методической части** подробно представлены свойства исходных компонентов и методы изготовления и исследования образцов.

Экспериментальные результаты и их обсуждение содержатся в 7 разделах.

В **разделе 3.1** установлена зависимость скорости горения систем на основе KNO_3 , $NaNO_3$, $CsNO_3$, $Ba(NO_3)_2$, $Sr(NO_3)_2$ и $Pb(NO_3)_2$ от давления и коэффициента α . Термодинамические расчёты показали, что при всех давлениях наибольшую расчетную температуру горения при α от 0,4 до 1,0 имеют образцы на основе $Ba(NO_3)_2$ и $Sr(NO_3)_2$, а наименьшую – образцы на основе $CsNO_3$. С наибольшей скоростью горят образцы на основе KNO_3 и $CsNO_3$. Для большинства образцов зависимость скорости горения от давления имеет своеобразный характер - состоит из двух участков: на первом участке значение v значительно меньше, чем на втором участке. Зависимость скорости горения u от α для всех образцов имеет экстремальный характер.

Сопоставление максимальных скоростей горения образцов (достигающихся при различных α) с расчетной температурой горения показало, что между ними нет однозначной корреляции, особенно при атмосферном давлении. Таким образом ведущая стадия горения протекает в зоне с более низкой температурой, вероятно в к-фазе.

В разделе 3.2 определена экспериментальная температура горения систем. Экспериментальная температура горения образцов на основе NaNO_3 при атмосферном давлении равна расчётной. Это наблюдается и для образцов на основе KNO_3 и CsNO_3 с $\alpha \geq 0,72$. Для образцов с $\alpha \leq 0,62$ в волне горения фиксируется температура, превышающая расчётное значение, затем происходит её снижение до постоянной величины, близкой к расчётной. Это связано с тем, что в пламенной зоне вначале присутствуют углерод-сажа и повышенное по сравнению количество CO_2 и H_2O , затем углерод эндотермически реагирует, что приводит к снижению температуры, которая приближается к расчётной. Для образцов на основе $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ и $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ при низком α значения экспериментальных температур совпадают с расчётными, а при более высоком α ($\geq 0,72$) – они ниже расчётных. Это происходит из-за незавершённости реакций с участием NO при низком давлении, также, как и при горении энергонасыщенных материалов (нитроэфиров, нитросоединений, и порохов).

В разделе 3.3 изучен механизм горения систем на основе нитратов щелочных и щелочноземельных металлов при атмосферном давлении. Для всех образцов температура поверхности имеет высокое значение ($\geq 1200\text{K}$). Наибольшую температуру поверхности и наибольший температурный градиент имеет образец на основе KNO_3 , что обеспечивает наибольшую скорость горения. Медленногорящий образец на основе $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ имеет более низкую температуру поверхности и температурный градиент, и соответственно наименьшую скорость горения. Основное количество тепла, необходимого для распространения горения изученных образцов, выделяется в реакционном слое к-фазы.

В разделе 3.4 изучено влияние размера частиц (от ≤ 50 мкм до ≤ 500 мкм) нитрата на скорость горения образцов и показано, что оно относительно слабо небольшое, так как все компоненты в к-фазе далеко до реакционной зоны, находятся в расплавленном состоянии, что способствует их смешению.

В разделе 3.5 и 3.6 изучено влияние металлов, катализаторов, сажи и углеродных нанотрубок на скорость горения систем. Получено, что добавки оказывают различное влияние на скорость горения базовых образцов, в частности влияние металла проявляется в большей степени при горении медленногорящих топлив, имеющих повышенное значение α .

В разделе 3.7 предложен подход к разработке быстрогорящих аэрозольобразующих топлив, скорость горения которых при атмосферном давлении равна 8-18 мм/с, и при этом слабо зависит от давления: значение $v \leq 0,25$ в интервале 0,1-2 МПа. Предлагаемые топлива можно использовать для различных газогенераторов, в том числе оперативного действия.

Сформулированные диссертантом **выводы** по диссертационной работе достаточно полно отражают её главные результаты.

Автореферат соответствует основным положениям и выводам диссертации.

Личный вклад диссертанта состоит в постановке целей исследований, в выполнении лабораторных исследований, анализе и оценке результатов, а также в публикациях статей и докладов.

Достоверность результатов работы и научная обоснованность выводов

Полученные результаты диссертации обеспечиваются использованием аттестованных измерительных средств и известных апробированных методик, а также современных аналитических методов.

Основные результаты диссертации опубликованы в 12 научных работах, в том числе из них 1 статья в журнале, индексируемом международными базами данных WoS, и 2 научных статьях в рецензируемом журнале, включенном. Результаты работы прошли апробацию на международных конференциях. Опубликованные работы характеризуют основные результаты диссертации.

Замечания и вопросы на диссертации:

1. В литературном обзоре диссертантом рассмотрены вопросы термического распада нитратов металлов, проводились ли в данной работе исследования по разложению используемых нитратов?
2. Диссертантом детально обсужден вопрос о высоком значении $T_{\text{п}}$ только для образцов на основе нитратов калия и натрия, и не рассматривается для систем на основе других нитратов.
3. Не ясно, почему сажа и УНТ слабо увеличивают влияние катализаторов в отличие от катализа горения баллистических порохов?
4. В работе имеются несколько незначительных опечаток.

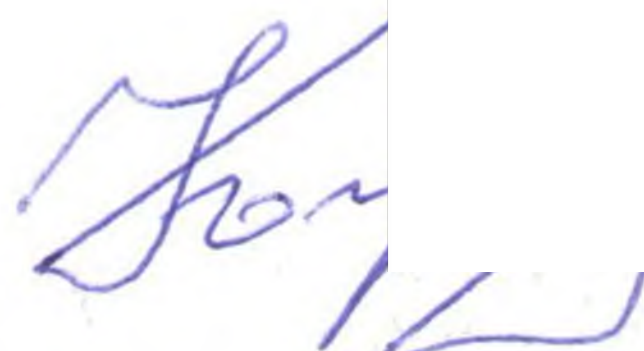
Отмеченные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы, выполненную на высоком уровне. Рецензируемая диссертационная работа представляется завершённым научным исследованием,

Содержание диссертации Нгуен Зюи Туан на тему «Изучение закономерностей и механизма горения энергонасыщенных систем на основе

нитратов различных металлов» соответствует паспорту специальности научных работников 05.17.07 - Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ. По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» (утвержденном приказом ректора № 820Д от 14.11.2019), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Ее автор Нгуен Зюи Туан заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.07 - Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Профессор кафедры процессов горения и экологической безопасности Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

к.т.н.



Комраков Петр Владимирович

«7» 06 2021 г.

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА КАДРОВ
ПОЛКОВНИК ВН. СЛ.

И. А. КАЗАРИНОВА

Шифр и наименование научной специальности, по которой защищена диссертация

05.17.07 - Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ

Контактные данные:

Тел.: +7(916)958-47-65

e-mail: pkomrakov69@yandex.ru

Адрес официального места работы: 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4.

Подпись Комракова Петра Владимировича заверяю



КАЗАРИНОВА