



АКЦИОНЕРНОЕ  
ОБЩЕСТВО  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ  
ЦЕНТР



659322, г. Бийск Алтайского края, ул. Социалистическая, 1,  
факс (3854)311309, 317283 тел. (3854) 301067, 301807,  
e-mail: post@frpc.secna.ru, Internet:http://www.frpc.secna.ru

25 АВГ 2023

№

10-6129

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Отзыв  
на автореферат

ЖКЗ.№1

ОКПО  
07508902

Ученому секретарю  
диссертационного совета РХТУ.2.6.02  
д.х.н., профессору  
Козловскому Р.А.

125047, г. Москва,  
Миусская пл., 9  
РХТУ им. Д.И. Менделеева

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора по науке, к.т.н.

Р.Г. Никитин

08 2023 г.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Зар Ни Аунг

«Закономерности влияния катализаторов на горение энергонасыщенных материалов различного строения, содержащих нитрогруппы», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Изучение закономерностей и механизма влияния катализаторов на горение баллиститных порохов (БП) и твердых ракетных топлив с использованием нитросоединений различной природы является **актуальной** задачей для разработчиков высокоэнергетических конденсированных систем (ВЭКС) с целью поиска эффективных способов расширения диапазона регулирования скорости горения и ее зависимости от давления. Многочисленные исследования в этом направлении, как в нашей стране, так и за рубежом, посвящены в основном изучению катализа процесса горения ВЭКС, сопровождающегося тепловыделением в результате окислительно-восстановительных реакций в

конденсированной фазе волны горения с формированием непосредственно на горячей поверхности углеродного каркаса, на котором накапливается катализатор. Ведущую роль в этих исследованиях уже много лет занимает РХТУ им. Д.И. Менделеева. Решение этой задачи имеет безусловно большое практическое значение при разработке ВЭКС с требуемыми характеристиками горения для систем боевой ракетной техники различного назначения.

В этой связи, представленная работа является несомненно **актуальной**.

Диссертационная работа Зар Ни Аунг «Закономерности влияния катализаторов на горение энергонасыщенных материалов различного строения, содержащих нитрогруппы» посвящена изучению закономерностей и выявлению механизма влияния ряда индивидуальных и комбинированных катализаторов на горение баллистических порохов, содержащих нитрогруппы, различающихся между собой параметрами термической стабильности, скорости и температурой горения.

Основной целью диссертации являлось выяснение вопроса о применимости механизма катализа горения, предложенного ранее для БП, к горению различных энергетических материалов, содержащих нитрогруппы, что позволяет целенаправленно использовать ранее разработанные способы регулирования внутрибаллистических характеристик не только к БП на основе нитроэфиров, но и к ВЭКС на основе других классов нитросоединений.

В ходе выполнения работы, несмотря на высокую интенсивность изучения влияния катализаторов горения БП и ароматических соединений в индивидуальном виде и в сочетании с углеродистой сажей на скорость горения, температурный профиль в волне горения, структуры и элементного состава углеродного каркаса на поверхности погашенных образцов, температуру вспышки и термическое разложение нитросоединений, автором получены безусловно новые и интересные результаты. Так, впервые установлено, что катализаторы увеличивают скорость тепловыделения в зоне углеродного каркаса с ростом градиента температуры в зоне каркаса и существенно увеличивают теплопроводность каркаса за счет металлизированных продуктов его термораспада. Это свидетельствует о наличии ведущей зоны горения каркаса, из которого в к-фазу поступает основное количества тепла, необходимое для распространения горения.

В работе использовались современная приборная база и физико-химические **методы испытаний**, апробированные в аналогичных исследованиях с

применением современных методов обработки и анализа экспериментальных данных, что подтверждает **достоверность** полученных результатов.

Можно отметить неординарную способность автора провести исследования температурного профиля в волне горения БП с использованием вольфрам-рениевых ленточных микротермопар толщиной  $\sim 5$  мкм (тоньше человеческого волоса). Закладка и фиксация в образце, изготавливаемом методом глухого прессования при высоких давлениях (450 МПа), таких спаянных ультратонких термопар без нарушения их формы и структуры (с возможной потерей сопротивления) требует филигранного мастерства, умения и скрупулезности.

Автором детально исследовано влияние высокоэффективных известных катализаторов баллиститных топлив салицилатов никеля и меди, а также фталата меди-свинца на горение нитроароматических соединений: ТНБ, ТНТ, ТНФ, ТНР, ДНФ, нитраминов: НГУ, НМХ, ТЭН, а также коллоксилина и пироксилина №1. Показана низкая эффективность катализа процесса горения с использованием катализаторов в индивидуальном виде.

Установлено, что в присутствии углеродистой сажи (УМ-76) и нанотрубок (УНТ) катализ горения происходит для всех веществ и всех катализаторов, причем, зависимость эффективности действия катализаторов от соотношения их с сажей и УНТ носит экстремальный характер.

Проведен анализ влияния комбинированных катализаторов на температуру поверхности горения, градиент температуры над поверхностью горения и коэффициент теплопроводности образований каркасной структуры. Рассчитанный тепловой баланс к-фазы при горении образцов ТНР, ТНФ и ТНТ показал, что основное количество тепла ( $\geq 80\%$ ), необходимого для распространения горения, поступает в к-фазу из каркаса – ведущей зоны горения.

Важным научным результатом, полученным Зар Ни Аунг является предложенный единый механизм катализа горения для БП различного состава и всех энергетических материалов ВЭКС, при горении которых тепловыделение происходит в результате окислительно-восстановительных реакций с образованием сажистого каркаса, на котором происходит накопление частиц катализатора, повышающих скорость тепловыделения и обеспечивающих более высокую его теплопроводность (в 2 и более раз) по сравнению с газовой фазой.

**Практически значимым результатом** диссертации Зар Ни Аунг является возможность целенаправленной компоновки различных топлив с регулируемой

скоростью горения и зависимостью ее от давления не только на основе нитроэфиров, но и других классов нитросоединений.

Наряду с достоинствами и практическими результатами по диссертационной работе имеются следующие недостатки:

1. На стр. 4 автореферата в разделе «Научная новизна» совершенно обоснованно утверждается, что «при относительно небольшом (до 4%) количестве катализатора, также как и для БП, нет взаимосвязи между их влиянием на скорость горения и на термическое разложение». Напротив, на стр. 5 автореферата в разделе «Положения, выносимые на защиту», п. 4 утверждается обратное «Установление взаимосвязи между влиянием катализатора на горение и термическое разложение». Очевидно, автор планировал получить эту «взаимосвязь», но, к сожалению, ему это не удалось, что стало впоследствии одним из важных постулатов данной работы.

2. В автореферате на стр. 11 приведенные параметры волны горения по температурному профилю образцов ТНР и ТНФ с добавкой сажи почти не отличаются от параметров, полученных для образцов без сажи. Для подтверждения устойчивости параметров процесса горения для этих и других образцов целесообразно было бы определить температурные градиенты  $dT/dt$  и  $dT/dx$  от температуры  $T$  при различных давлениях.

3. В плане соблюдения терминологии ТЭН относится к нитроэфиром и видимо полное его наименование тетранитратпентаэритрита, а не «тетранитропентаэритрит».

Приведенные замечания не снижают общего уровня научной и практической ценности диссертационной работы, производящей в целом положительное впечатление, и носят рекомендательный характер и могут быть учтены автором в дальнейших публикациях по теме исследования.

Диссертация Зар Ни Аунг является законченным научным исследованием, выполненным по актуальной тематике и на высоком уровне. Сделанные на основании результатов работы выводы корректны, достаточно обоснованы и полностью соответствуют основному содержанию работы.

В целом диссертационная работа Зар Ни Аунг «Закономерности влияния катализаторов на горение энергонасыщенных материалов различного строения, содержащих нитрогруппы» удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата

технических наук по специальности 2.6.12 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Начальник лаборатории  
Акционерного общества  
«Федеральный научно-  
производственный

центр «Алтай», к.т.н. по специальности 05.17.07  
(год присуждения 2005)

Доцент по специальности 05.17.07 \_\_\_\_\_ Калмыков Петр Иванович

Калмыков Петр Иванович

Почтовый адрес: 659322, Алтайский край, г. Бийск,

Социалистическая улица, 1

Тел. (3854) 305819, +7 (963) 572–1006

e-mail: [post@frpc.secna.ru](mailto:post@frpc.secna.ru)

Подпись Калмыкова Петра Ивановича

Ученый секретарь, к.т.н. \_\_\_\_\_

заверяю

Л. Г. Егорова

«24» 08 2023 г.

М.П.

