

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Сорокина Ивана Викторовича «ЗАЖИГАНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ЭНЕРГОЕМКИЕ ГОРЮЧИЕ»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества

Диссертационная работа, выполненная Сорокиным Иваном Викторовичем, посвящена экспериментальному исследованию характеристик окисления биметаллических порошковых систем, разложения и зажигания высокоэнергетических материалов (ВЭМ), содержащих окислитель, горючее-связующее вещество и биметаллические энергоемкие горючие.

Актуальность исследования вызвана поиском перспективного энергоемкого горючего на основе бора и металла, снижающего накопление жидкого оксидного слоя B_2O_3 на поверхности частиц, увеличивающего теплоту и полноту сгорания, и стимулирующего воспламенение, горение биметаллических соединений в составе ВЭМ. В работе решена задача по определению закономерностей окисления биметаллических порошковых систем на основе бор/металл, боридов алюминия и титана, а также характеристик и констант формальной кинетики зажигания ВЭМ, содержащих перхлорат и нитрат аммония, горючее-связующее вещество, порошок биметалла, при лучистом нагреве. Для решения поставленной задачи в работе использованы биметаллические соединения на основе бора и алюминия (Al-Me, Al-B) в виде порошков сплавов или механосмесей разной дисперсности и твердотопливные ВЭМ на их основе.

Научная и практическая значимость диссертационной работы Сорокина И.В. заключается в том, что полученные результаты экспериментальных исследований процессов разложения и зажигания ВЭМ, а также окисления энергоемких металлических горючих, могут быть использованы для развития теории горения гетерогенных конденсированных систем. А также использованы для решения ряда практических задач, связанных с оценкой взрывобезопасности, расчетом переходных процессов в энергоустановках различного назначения (ракетно-космические технологии,

средства вооружения, пиротехника, газогенераторы, двигатели на твердом и пастообразном топливах) и с разработкой лазерных систем инициирования. Установленные закономерности и характеристики окисления металлических горючих, зажигания смесевых ВЭМ дают основу для расширения фундаментальных знаний о горении твердых топлив, содержащих биметаллические порошки, и для решения математических задач, моделирующих нестационарные процессы зажигания и горения.

Общая характеристика работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемой литературы. Материал работы изложен на 197 страницах, включая 52 иллюстрации, 23 таблиц и 4 приложения. Библиографический список включает 139 источников.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, отражены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, а также степень достоверности и положения, выносимые на защиту; представлены сведения об апробации, личном вкладе автора, количестве публикаций.

В первой главе приведены данные об основных компонентах современных ВЭМ. Представлен анализ полученных результатов и обзор существующих экспериментальных работ термического окисления порошков металлов и неметаллов, зажигания и горения ВЭМ, содержащих различные биметаллические и энергоемкие горючие.

Во второй главе приведены результаты термодинамического расчета по влиянию одно- и двухкомпонентных металлических горючих на характеристики горения модельных составов ВЭМ.

В третьей главе представлены методика и результаты экспериментального исследования процесса окисления порошков металла и аморфного бора, термического разложения составов ВЭМ, содержащих энергоемкое металлическое горючее, при постоянной скорости нагрева.

В четвертой главе приводятся основные результаты работы – экспериментальное исследование процесса зажигания ВЭМ при лучистом нагреве, расчет формальных кинетических параметров зажигания ВЭМ, физическая картина реагирования на поверхности и развитие пламенных процессов при зажигании постоянным лучистым потоком ВЭМ с варьируемым составом металлического горючего.

В заключении изложены основные результаты диссертационного исследования и сформулированы выводы.

Наиболее значимыми научными результатами диссертации являются:

1. Получены экспериментальные значения температур начала и интенсивного окисления, фазовых переходов, теплового потока и скорости изменения массы биметаллических горючих на основе смесей ультрадисперсных порошков (УДП) алюминия, железа, никеля, титана с бором при постоянной скорости нагрева $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ в воздухе;
2. Установлено, что применение 2 масс. % добавки УДП железа в составе ВЭМ на основе ПХА, бутадиенового каучука и алюминия интенсифицирует процесс разложения компонентов и снижает времена задержки зажигания топлива при лучистом нагреве;
3. Получены экспериментальные характеристики зажигания составов ВЭМ, содержащих ПХА, НА, ГСВ и биметаллическое горючее на основе алюминия, магния, железа, никеля, титана, бора, а также боридов алюминия, при иницировании CO_2 -лазером в диапазоне $q = 60\text{--}200\text{ Вт}/\text{см}^2$;
4. Установлено, что применение синтезированных порошков боридов алюминия AlB_2 и AlB_{12} в составе ВЭМ, содержащих ПХА, НА и тетраольный каучук, существенно снижает времена задержки зажигания топлив, по сравнению с ВЭМ, содержащим алюминий.
5. С использованием методов высокоскоростной визуализации и тепловизионной съемки определены особенности локального реагирования и развития пламенных процессов на поверхности металлизированных ВЭМ варьированного состава в условиях лучистого нагрева, представляющие основу для построения детальных физических механизмов зажигания исследованных топливных композиций.

По работе имеется ряд замечаний и вопросов / Замечания по работе

1. В работе не обуславливается выбор в качестве источника зажигания/тепла излучение CO_2 -лазера. Вы в своей работе для практических применений предлагаете использовать лазерное излучение в качестве инициатора зажигания высокоэнергетических материалов? Будет ли отличие полученных Вами результатов от результатов с применением излучения не «лазерной» природы, например, мощной световой вспышкой со спектром излучения близким к солнечному?
2. В описании методики эксперимента (п.4.2) не совсем понятно, лазерное излучение на образец имело непрерывный или импульсный характер? Сообщается, что «..время экспозиции составляло $\sim 3\text{ мс}$ », из этого можно предположить, что излучение имело импульсный характер.
3. Что принималось в математической модели за критерий зажигания, а в экспериментальной части за момент зажигания?

4. В главе 4 следовало бы пояснить, продолжался ли процесс горения ВЭМ после отключения CO_2 -лазера, и что происходило с образцом ВЭМ при затухании пламени? Наблюдалось ли свечение на поверхности образца ВЭМ без формирования вспышки и зоны пламени при относительно коротких импульсах? Также практический интерес представляют измеренные данные о спектре свечения во всех случаях: без зажигания, с зажиганием, поверхность образца, пламя. Проводились ли такие измерения?
5. Производился ли анализ газообразных продуктов реакции? Каков их состав? На стр. 131 указывается, что «...газообразные продукты образуют светящуюся струю диаметром ~ 3 мм вдоль оси лазерного луча...». Существует ли возможность взаимодействия лазерного излучения с газообразными продуктами, приводящее к появлению свечения? При непрерывном излучении учитывался ли эффект экранирования газообразными продуктами реакции?
6. В описании механизма зажигания ВЭМ следовало бы пояснить метод измерения скорости распространения зоны пламени.

Приведенные замечания не затрагивают основных результатов и выводов диссертации и не снижают общего положительного впечатления от рассматриваемой диссертации, как о законченной научно-исследовательской работе, выполненной на современном научно-техническом уровне.

Указанные выше замечания ни в коей мере не снижают высокой оценки представленной работы. Диссертационная работа Сорокина И. В. является законченным научным трудом и содержит ценные результаты, которые могут быть использованы в развитии теории горения гетерогенных конденсированных систем, а также решении ряда практических задач, связанных с оценкой взрывобезопасности, расчетом переходных процессов в энергоустановках различного назначения и разработкой лазерных систем инициирования.

Автореферат и опубликованные статьи достаточно полно отражают содержание и результаты диссертации. Материалы диссертационной работы опубликованы в 12 статьях в журналах, входящих в список ВАК РФ и международные системы цитирования Scopus и Web of Science, а также в сборниках материалов международных и всероссийских конференций и семинаров.

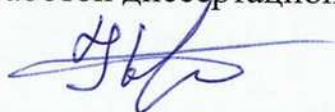
На основании вышеизложенного диссертационная работа «Зажигание высокоэнергетических материалов, содержащих биметаллические энергоемкие горючие» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, в том числе отвечает критериям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (в действующей редакции), а ее автор, Сорокин Иван Викторович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Официальный оппонент

Нурмухаметов Денис Рамильевич
доктор физико-математических наук
специальность – 01.04.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества
Ведущий научный сотрудник, Институт углекислого газа и химического материаловедения, лаборатория энергетических соединений и нанокompозитов Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр угля и углекислого газа Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ УУХ СО РАН)
Российская Федерация, 650000, г. Кемерово, пр. Советский, д. 18
Электронная почта: ndr999@gmail.com
Телефон: +7-923-500-20-42

«22» сентября 2022 г.

Согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.



Подпись Нурмухаметова Д.Р. удостоверяю.

Заместитель директора по научно-административной
работе ФИЦ УУХ СО РАН



(М.П.)

В.В. Зиновьев /

«22» сентября 2022 г.