

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.

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.

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 процессов 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 инициировании 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 тетразоновый 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 варьируемого 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. Обзор литературы содержит значительное количество работ, которые не имеют непосредственного отношения к цели диссертации. А именно, подробно рассматривается состав твердых топлив и технология получения энергетических добавок, что, во-первых, относится к базовым знаниям, а, во-вторых, никак не связывается далее с установлением общих закономерностей зажигания металлизированных высокоэнергетических материалов.

2. Представленные в главе 2 результаты по оптимизации состава ВЭМ на основании термодинамического расчета в ПК «Тerra» не представляют научной ценности. Автор не даёт пояснений характера полученных зависимостей для различных составов ВЭМ.

3. Из текста диссертации не ясно, в чём заключается новизна предлагаемой математической модели, а также на основании чего становится возможным использование модели зажигания гомогенного топлива Виллюнова В.Н. для гетерогенных составов.

4. В формулировке научной новизны работы (п.4.) говорится о снижении времени задержки воспламенения для ВЭМ с AlB_2 и AlB_{12} по сравнению с ВЭМ, содержащим алюминий. При этом не указано, что высокоэнергетические добавки имеют разную дисперсность (алюминий – микродисперсный, а бориды – ультрадисперсные).

Приведенные замечания не затрагивают основных результатов и выводов диссертационной работы и не снижают общего положительного впечатления от рассматриваемой диссертации, как о законченной научно-

исследовательской работе, выполненной на современном научно-техническом уровне.

Диссертационная работа Сорокина И. В. является законченным научным трудом и содержит ценные результаты, которые могут быть использованы для развития теории горения гетерогенных конденсированных систем, а также для решения ряда практических задач, связанных с оценкой взрывобезопасности, расчетом переходных процессов в энергоустановках различного назначения и разработкой лазерных систем инициирования.

Автореферат и опубликованные статьи отражают содержание диссертации. Материалы диссертации опубликованы в 12 статьях в журналах, входящих в список ВЭК РФ и международные системы цитирования Scopus и Web of Science, а также в периодических изданиях и сборниках материалов международных и всероссийских конференций и семинаров, что подтверждает известность научных работ И.В. Сорокина среди профильных специалистов.

На основании вышеизложенного диссертационная работа «Зажигание высокоэнергетических материалов, содержащих биметаллические энергоемкие горючие» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, 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

Ягодников Дмитрий Алексеевич

доктор технических наук

специальность «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

заведующий кафедрой «Ракетные двигатели»

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»,

Российская Федерация, 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, к. 1

Телефон: (499)2678903

Электронная почта: daj@bmstu.ru

«14» сентября 2022 г.

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

Подпись Ягодникова Д.А. удостоверяю.

