



Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
**Институт проблем химико-
энергетических технологий
Сибирского отделения
Российской академии наук
(ИПХЭТ СО РАН)**

659322, г. Бийск Алтайского края, ул. Социалистическая 1
т. (3854) 305-955, ф. 303-043, 301-725, e-mail: admin@ipcet.ru
ОКПО 10018691, ОГРН 1022200571051, ИНН 2204008820,
КПП 220401001

Исх. № 15365-2171 от 28.03. 2023г.
На № _____ от _____

☐ О направлении отзыва на диссертацию

Ученому секретарю диссертационного
совета 24.1.129.01 при ФГБУН
«Институт теплофизики им. С.С.
Кутателадзе» СО РАН, д.ф.-м.н.,
профессору РАН В.В. Терехову

пр. Академика Лаврентьева, д. 1,
г. Новосибирск, 630090



УТВЕРЖДАЮ

Директор, член-корреспондент РАН

С.В. Сысолятин

28» марта 2023 г.

Отзыв

ведущей организации на диссертационную работу Белоусовой Натальи Сергеевны «Горение частиц металлического горючего в воздухе и в составе смесевых топлив», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Процессы горения и воспламенения металлических частиц, их влияние на физико-химические свойства смесевых топлив и пиротехнических составов, интенсивно исследуются и используются в прикладных и научных разработках на протяжении более восьмидесяти лет. Металл, являясь энергетической добавкой, как правило приводит к повышению теплопроизводительности, удельного импульса, плотности топлива, и соответственно улучшению его эффективности. Однако горение и воспламенение металлизированных топлив зависит от ряда факторов, унифицировать которые в связи с чрезвычайной сложностью указанных процессов невозможно на данном этапе развития науки. Поэтому сегодня важны прикладные исследования, направленные на разработку процедур экспериментальной оценки параметров и определения характеристик металлических горючих в топливных системах. В первую очередь это относится к наиболее часто используемым порошкообразным алюминию и титану, а также малоиспользуемому в силу объективных причин,

но весьма перспективному бору. В связи с изложенным, диссертационная работа Белоусовой Натальи Сергеевны является своевременной и посвящена актуальным, имеющим научное и прикладное значение, вопросам целевого исследования физических механизмов процессов горения металлического горючего для повышения полноты сгорания и получения конденсированных продуктов с требуемыми свойствами.

Диссертационная работа Белоусовой Н.С. состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованных источников из 184 наименований; содержит 145 страниц, 42 рисунка и 11 таблиц.

Во введении кратко, но в достаточном объеме обоснованы актуальность, практическая и научная значимость выбранного направления исследований. Сформулированы и обоснованы цели и задачи работы, обозначены методы, выбранные для решения поставленных задач.

Первая глава посвящена анализу и обсуждению состояния работ в области применения частиц металлов в качестве горючих компонентов в смесевых твердых топливах (СТТ). Приводится достаточно подробный анализ публикаций, относящихся к экспериментальным исследованиям процессов горения Al, Ti, Mg, В и боридов, влияния добавок второго металла и модифицированных металлических частиц на характеристики других компонентов топливных составов. Кратко описаны наиболее используемые на сегодняшний день методы, применяемые для изучения воспламенения и горения металлических частиц.

В целом, обсуждение рассматриваемых проблем и путей их решения, применительно к поставленным целям и задачам работы, проведено в достаточном объеме и обосновано.

Вторая глава содержит описание методики получения горящих частиц контролируемого размера и результаты экспериментов с модельными агломератами алюминия. Использован оригинальный подход для формирования объектов исследования – горящих частиц определенного состава, который позволил изучить в динамике горение крупных частиц алюминия и Al-агломератов (до 780 мкм). Полученные результаты важны, поскольку данных о горении таких частиц алюминия (для топлив с сильной агломерацией) практически отсутствуют. Кроме того, экспериментально подтверждено предположение об идентичности процесса горения крупных монолитных частиц и агломератов.

Достоверность полученных результатов и их обработки не вызывают сомнений. Сделанные при текущем обсуждении результатов предположения в целом корректны и не противоречат современному уровню знаний. Объем проведенных исследований модельных частиц и агломератов алюминия более чем достаточный.

Третья глава посвящена исследованию горения частиц титана. Поскольку титан, как и алюминий, агломерирует в волне горения, то изучение картины трансформации отдельных частиц и агломератов представляет практический

интерес. Следует отметить удачное использование метода скоростной видеосъемки, который позволил зафиксировать времена и различные режимы фрагментации крупных монокристаллических частиц; выявить закономерности появления конкретного типа фрагментации («еловая ветвь» или «звезда»); объяснить отсутствие непрореагировавшего металла в конденсированных продуктах сгорания.

Полученные результаты и их обработка заслуживают доверия. Обсуждение и сделанные выводы убедительны. Объем проведенных исследований монокристаллических частиц титана и агломератов вполне достаточный. В четвертой главе приводится краткий обзор работ, посвященных аэродинамическому сопротивлению горящих частиц алюминия и титана. Отмечено практическое отсутствие исследований для частиц титана. Предложено экспериментальное изучение закономерностей крупных горящих частиц титана в свободном падении в воздухе. В итоге разработана методология исследования, получены формулы расчета движения частиц определенных размеров в конкретных условиях.

Представленная математическая процедура обработки и осреднения экспериментальных данных траекторий движения частиц титана проста и эффективна, что позволяет использовать, либо адаптировать, разработанный метод исследования для других металлических частиц.

Пятая глава посвящена исследованию (более подробно, чем в третьей главе) конденсированных продуктов горения частиц титана, в частности получению высокодисперсного диоксида титана. Подробно рассмотрена фрагментация и образование дисперсного оксида. Определены характеристики частиц конденсированных продуктов горения, рассмотрены их морфологические типы, выполнен гранулометрический и элементный анализы. Таким образом, получена исчерпывающая визуальная информация и количественная характеристика различных типов дисперсных конденсированных продуктов. Отдельно рассмотрена агломерация титана при горении смесевых топлив, с целью определения скорости горения параметров конденсированных продуктов металлической фазы.

Результаты исследования представляют интерес для специалистов, работающих в области создания высокоэнергетических материалов.

Шестая глава посвящена горению смесевых топлив на основе бора и боридов. Рассмотрено влияние таких добавок, как фторид магния, фторопласт и гексафторотитанат аммония на характеристики горения указанных выше топлив. Полученные положительные результаты, экспериментально доказывают возможность регулирования скорости горения и повышения эффективности энерговыделения топлив на основе бора и боридов.

Полученные данные позволяют расширить элементную базу для конструирования высокоэнергетических систем.

В заключении перечислены основные результаты и выводы.

В целом, достоверность полученных результатов и их анализа не вызывает сомнений и подтверждается, в том числе, соответствием ряда результатов данным других исследователей.

Основные положения и выводы диссертационной работы в необходимой и достаточной мере обоснованы всем объемом проведенных исследований и анализа.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- в разработке оригинальных методик для решения некоторых задач исследования, заключающихся в детальной проработке постановочных экспериментов и обработки результатов;
- в получении экспериментального подтверждения предположения об идентичности процесса горения крупных (400 мкм – 780 мкм) монолитных частиц и агломератов алюминия;
- в визуализации и описании механизма фрагментации, определении эффективного коэффициента аэродинамического сопротивления крупных горящих частиц титана;
- в экспериментально доказанной возможности модификации малыми добавками $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$, $(\text{C}_2\text{F}_4)_n$ и MgF_2 характеристик горения топлив на основе бора и додекаборида алюминия.

Практическая значимость работы не вызывает сомнений. Работа проводилась в рамках выполнения государственных заданий, по проектам РФФИ, грантам Министерства науки и высшего образования РФ, а ее результаты приняты к использованию в учебном процессе ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» (акт о внедрении приложен к диссертации).

Материалы диссертации опубликованы в рецензируемых журналах, в том числе из списка рекомендованных ВАК, результаты докладывались на конференциях международного и всероссийского уровней.

Автореферат в достаточной степени отражает и соответствует содержанию диссертации.

В целом, материалы диссертации представляют несомненный интерес для специалистов прикладных организаций, занимающихся разработкой и применением высокоэнергетических материалов, специализирующихся на исследовании свойств металлических горючих, а также в качестве основы учебно-методических материалов при подготовке специалистов соответствующих специальностей.

Замечания по оформлению диссертации:

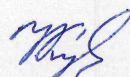
- оформление списка литературы не соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 (список литературы, расположенный в конце работы оформляется несколько иначе);
- на стр. 58 и 59 дублируется нумерация рисунков (рисунок 3.11), что влечет за собой не верную информацию о количестве рисунков в

- диссертации (страница 9) и автореферате (страница 6).
- нижнее поле на страницах 47 – 55, 66, 69, 82, 84, 90, 92, 95, 100, 106 «слишком» не соответствует принятому стандарту (ГОСТ Р 7.0.11-2011 п.5.3.7).

Перечисленные замечания не меняют положительного заключения по диссертации Белоусовой Н.С., являющейся законченной научно-исследовательской и квалификационной работой, содержащей решение актуальных, имеющих большое научное и прикладное значение, задач целевого анализа конденсированных продуктов горения крупных металлических частиц и агломератов с получением новых результатов.

По актуальности поставленных задач, объему и достоверности проведенных исследований, научной и практической значимости полученных результатов, диссертация Белоусовой Натальи Сергеевны «Горение частиц металлического горючего в воздухе и в составе смесевых топлив» полностью соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает, как квалифицированный специалист, присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.12 – Теплофизика и теоретическая теплотехника. Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании Ученого Совета, протокол № 3 от 28 марта 2023 г.

Начальник лаборатории, д.т.н.



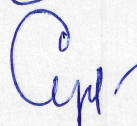
Н.В. Козырев

Научный сотрудник, к.ф.-м.н.



М.В. Комарова

Ученый секретарь, к.х.н.



А.Г. Суханова

Отзыв составили: Козырев Николай Владимирович, д.т.н. зав. лаб. №4 («Лаборатория физико-химических основ создания энергетических конденсированных систем»), Комарова Марина Витальевна, к.ф.-м.н., н.с. лаб. № 4 ФГБУН ИПХЭТ СО РАН, 659322, Алтайский край, г. Бийск, ул. Социалистическая, д. 1, тел. (3854) 301725, e-mail: admin@ipcet.ru