

Отзыв

дополнительного члена диссертационного совета ДС.ТПУ.06
Лисицына Виктора Михайловича на диссертацию **Фората Егора Викторовича**
«ИМПУЛЬСНОЕ ЛАЗЕРНОЕ ЗАЖИГАНИЕ
СМЕСЕЙ ПЕРХЛОРАТА АММОНИЯ С АЛЮМИНИЕМ»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 1.3.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных
состояний вещества

Актуальность работы. Исследования катастрофических процессов в энергетических материалах являются одними из самых интересных. Инициирование возможно разными способами, зависит от условий воздействия, состояния материала. Объект обычно исчезает в эксперименте. Нужно понять не только совокупность процессов, но и научиться ими управлять. Из множества энергетических материалов в настоящей работе для исследований выбраны ПХА/Al. Есть два обстоятельства, которые представляются важными для выбора в качестве объекта исследований ПХА/Al и способа воздействия для инициирования – лазерное излучение. ПХА/Al – один из наиболее изученных, используемых в практике материалов, для которого известны основные физико-химические свойства, имеется информация о закономерностях инициирования, горения. Использование лазерного излучения позволит обеспечить широкий круг контролируемых режимов воздействия: мощности, энергии длительности. Поэтому можно надеяться на развитие представлений о механизмах инициирования, разработку физических моделей лазерного инициирования процессов в ПХА с алюминием и других подобных системах. Считаю, что выполненная в направлении развития представлений о процессах инициирования ПХА/Al лазерным излучением работа является **актуальной**.

Работа имеет целью установление основных закономерностей и характеристик процессов лазерного импульсного зажигания прессованных образцов порошковых смесей ПХА с наноразмерным алюминием излучением первой гармоники Nd-лазера ($\lambda = 1,06$ мкм).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 144 наименований. Работа изложена на 128 страницах, содержит 12 таблиц и 40 рисунков.

Содержание диссертации. Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи диссертации, описаны научная новизна и практическая значимость.

В первой главе диссертационной работы приведена информация о состоянии исследований инициирования ВВ лазерным воздействием. Приведена также информация о горении ПХА, имеющаяся информация о зажигании смеси ПХА с порошком алюминия. Обращено внимание на существование так называемого размерного эффекта: зависимости пороговой энергии и плотности энергии от размеров лазерного пучка. Возможным объяснением этого эффекта может быть рассеяние лазерного излучения в образцах.

Вторая глава посвящена описанию использованных для исследований лазерных стенов, подготовки образцов для исследований. В главе представлены результаты систематических оригинальных исследований лазерного зажигания смесей ПХА/Al с открытой и закрытой прозрачным диэлектриком поверхности. Выполнен большой объем работ по изучению чувствительности к лазерному излучению состава ПХА/НП Al различной плотности, влиянию атмосфер. Совокупность проведенных исследований привела к выводу о необходимости решения задачи о причинах разогрева. Разогрев осуществляется поглощенной энергией лазерного излучения. Поглощение определяется оптическими характеристиками смеси. Поэтому необходимо изучение процессов поглощения лазерного излучения смесью.

Третья глава посвящена исследованию поглощения, рассеяния, ослабления лазерного излучения при прохождении через диффузно рассеивающую среду, которой являются образцы смеси ПХА/Al. Для установления сложных взаимных связей между этими процессами выполнено математическое моделирование распространения излучения в ПХА методом Монте-Карло. Это позволило установить связь между величиной коэффициента диффузного отражения и показателем ослабления в среде. Основываясь на этих результатах разработана методика экспериментального определения показателей рассеяния и поглощения в образцах чистого ПХА на основании параметров: коэффициента диффузного отражения и коэффициента пропускания по полному пучку. Определены экспериментально показатели поглощения прессованных образцов НП Al. Показано, что оптические характеристики прессованных образцов НП Al аналогичны характеристикам смеси ПХА/НП Al при массовой концентрации НП Al более 25 %. Это позволяет использовать оптические характеристики (коэффициент отражения, глубину проникновения излучения в образец, показатель поглощения) НП Al для смеси ПХА/НП Al (60:40) в оценках нагрева и испарения слоя.

Четвертая глава посвящена численному решению задачи разогрева поверхности образца ПХА/НП Al. Разработана и описана феноменологическая модель зажигания смеси импульсом излучения неодимового лазера. Модель описывает совокупность процессов зажигания состава ПХА/НП Al с открытой и закрытой поверхностью.

В заключении приведены кратко сформулированные основные результаты работы и выводы.

В диссертации сформулированы следующие защищаемые положения

1. При пороговых уровнях лазерного импульсного воздействия миллисекундной длительности с длиной волны 1,06 мкм на прессованные образцы смеси ПХА/НП Al в приповерхностной области образуется тепловой очаг плоской конфигурации, разгрузка которого носит теплопроводностный характер.

Положение основано на экспериментальном факте повышения порога инициирования смеси в случае закрытия облучаемой поверхности прозрачным диэлектриком в области малых и средних плотностей при сжатии образцов. Данный факт исключает из рассмотрения газодинамическую разгрузку из приповерхностного теплового очага и легко объясняется с позиции теплопроводностной разгрузки.

2. На длине волны 1,06 мкм оптические характеристики прессованных образцов смеси ПХА/НП Al определяются характеристиками наноразмерного порошка Al, а коэффициент температуропроводности – характеристиками ПХА.

Это положение является прямым выводом из результатов измерений названных характеристик, включающих тепловизионные методики, теоретические оценки, и специально разработанные лазерные методики измерений.

3. В диапазоне плотности образцов смеси ПХА/НП Al от 320 до 1700 кг/м³ закрытие облучаемой поверхности прозрачным диэлектриком приводит к повышению порога зажигания по причине уменьшения максимальной температуры очага в пределе до $1+K_E$ раз при идеальном тепловом контакте, где K_E – это отношение тепловых активностей смеси и диэлектрика.

Это положение основано на результатах численного моделирования задачи нагрева смеси лазерным импульсом, численного расчета температурного профиля очага разогрева в условиях нагрева открытой и закрытой поверхности. Результаты исследований позволили разработать феноменологическую модель зажигания смеси импульсом лазерного излучения.

В целом защищаемые положения, научная, практическая новизна и значимость работы достаточно хорошо подтверждены проведенными в работе исследованиями.

Исследования были выполнены с использованием уже хорошо зарекомендовавших себя самых передовых и перспективных методов и оборудования: лазеров и измерительной техники при них с хорошо контролируемыми параметрами. Теоретические расчеты выполнены с использованием методов Монте-Карло, обеспечивающих высокое качество и наглядность представления результатов.

Имеются замечания и рекомендации по работе:

1. В главе 3 используются термины «показатель экстинкции» и «показатель ослабления». Зачем? Это же одно и то же.
2. Лазерный пучок имеет гауссовское распределение в сечении. Это должно сказаться на распределении поглощения ЛИ в среде и, соответственно, на пороге инициирования. Это может быть интересным на следующем этапе моделирования.
3. Очень интересная и важная глава 4 неудачно структурирована. Почему-то вводная часть, которая содержит и оригинальные результаты, не выделена в отдельный параграф. Нет выводов по главе 4, хотя они есть в заключении.
4. Непонятно, почему для характеристики плотности образца указывается «...давление прессования...», а не просто «...насыпная плотность...».

Изложенные выше замечания по работе не снижают высокой оценки полученных соискателем результатов и значимости диссертационной работы в целом. Высказанные замечания, надеюсь, будут полезны автору при дальнейшей работе.

Апробация. Результаты исследований изложены в 16 печатных работах, в том числе 2 – в международном рецензируемом научном журнале, индексируемом базами данных Scopus и Web of Science: «Propellants, Explosives, Pyrotechnics». Одна статья опубликована в журнале, рекомендованном ВАК РФ для публикации материалов кандидатских диссертаций: «Известия вузов. Физика». Результаты исследований, обобщенные в настоящей работе, докладывались на шести конференциях: 2nd International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE 2016): International Congress (г. Томск, 2016 г.); III-я Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Орбита молодежи» и перспективы развития российской космонавтики» (г. Томск, 2017 г.); The 6th International Symposium on Energetic Materials and their Applications, (г. Сендай, Япония, 2017 г.); Двадцать четвертая Всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых ученых, (г. Томск, 2018 г.); XIV Международная конференция «Высокоэнергетические и специальные материалы: демилитаризация, антитерроризм и гражданское применение» (HEMs 2018) (Томск, 2018 г.); 8th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE 2022) (г. Томск, 2022 г.).

Заключение. Диссертация соответствует паспорту специальности (области исследований) 1.3.17 п7: закономерности и механизмы распространения, структура, параметры, и устойчивость волн горения, детонации, взрывных и ударных волн; связь химической и физической природы веществ и систем с их термохимическими параметрами, характеристиками термического разложения, горения, взрывчатого превращения; термодинамика, термохимия макрокинетики процессов горения и взрывчатого превращения.

Основные положения диссертации достаточно полно изложены в опубликованных соискателем работах и апробированы на научных конференциях. Требования к публикации основных научных результатов диссертации выполнены.

Диссертационные исследования лазерного импульсного зажигания смесей ПХА с алюминием различной дисперсности выполнены при поддержке гранта РФФИ «Лазерное инициирование смесевых энергетических материалов на основе нанодисперсных компонентов», № 15-03-05385.

Автореферат хорошо отражает содержание диссертации и опубликованных работ.

С учётом сказанного выше считаю, что диссертация **«ИМПУЛЬСНОЕ ЛАЗЕРНОЕ ЗАЖИГАНИЕ СМЕСЕЙ ПЕРХЛОРАТА АММОНИЯ С АЛЮМИНИЕМ»** является законченной научно-исследовательской работой, удовлетворяющей требованиям п. 2.1, 2.2 «Порядка присуждения учёных степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете» (приказ № 362-1/од от 28 декабря 2021 г), а ее автор, **Форат Егор Викторович**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества

Даю свое согласие на автоматизированную обработку персональных данных, приведенных в настоящем документе

Дополнительный член диссертационного
совета ДС.ТПУ.06,
заслуженный деятель науки РФ,
профессор-консультант ОМ ИШНТП ТПУ,
профессор, доктор физико-математических наук


Лисицын Виктор Михайлович

Подпись Лисицына В.М. заверяю:
Учёный секретарь Учёного совета ТПУ


Куличикова Екатерина Александровна

24 08 2023 года.

Полное наименование организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».
Юридический адрес: 634050, г. Томск, проспект Ленина, 30.

Лисицын Виктор Михайлович

Должность: профессор-консультант Отделения материаловедения ИШНТП ТПУ

Телефон: +7 (3822) 701777 Вн.т. 2699

Эл. адрес: lisitsyn@tpu.ru

Ученая степень, ученое звание: доктор физико-математических наук (01.04.07 – Физика конденсированного состояния), профессор