

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата физико-математических наук, заведующего лабораторией взрывных процессов в конденсированных средах Комиссарова Павла Владимировича на диссертационную работу Рапота Даниила Юрьевича на тему «Экспериментальное исследование инициирования и эволюции неустойчивости детонации жидких взрывчатых веществ», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Содержание диссертации

Диссертационная работа Рапота Д.Ю. объемом 130 страниц состоит из введения, трёх глав, заключения и списка цитируемой литературы, состоящего из 82 ссылок. В работе содержится 58 рисунков и 2 таблицы.

Во введении обоснована актуальность темы, описаны объекты и метод исследования, сформулированы цели и задачи работы, новизна, теоретическая и практическая ценность полученных результатов, представлены основные положения, выносимые на защиту, описан личный вклад автора в работу.

В первой главе проведён анализ литературы по теме исследования. Автор рассматривает преимущественно классические схемы и теории описывающие явления, наблюдаемые в жидких взрывчатых веществах. В качестве таковых выступают: одномерная схема ударно-волнового инициирования гомогенных жидких ВВ, предложенная Дрёминым А.Н.; схема течений детонационной волны в заряде с оболочкой и механизм образования волн срыва реакции, описанные в работах Кобылкина И.Ф. и др.; механизм образования ячеистой неустойчивости и описание структуры негладкой детонационной волны Дрёмина А.Н. и Зельдовича Я.Б. В заключение обзора автор делает обзор новейших научных исследований, которые дополняют и расширяют представления о процессах, происходящих на разных этапах развития детонации в жидких ВВ.

Во второй главе автор приводит краткое описание используемых в работе методик и схемы проведения экспериментов. Описываемые методы исследования разделены на дискретные и непрерывные. К первым автор относит: электроконтактные датчики и сверхскоростную камеру НАНОГЕЙТ-22/16. Ко вторым: сверхскоростной фоторегистратор и лазерный доплеровский измеритель скорости. Каждая методика подробно разобрана и представлены характеристики исчерпывающим образом описывающие их устройство и работу.

В качестве схем проведения экспериментов автор представил три модификации экспериментальныхборок, разработанных на основе классического опыта по наблюдению образования детонации на пределе её возбуждения.

Третья глава посвящена результатам, полученным в экспериментах по изучению особенностей инициирования и эволюций детонации в жидких взрывчатых веществах. Приведено подробное описание наблюдаемых явлений и предложен метод сопоставления результатов, получаемых с применением различного фоторегистрирующего оборудования.

В заключении диссертационной работы изложены основные результаты и сформулированы выводы.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Актуальность темы диссертации

Работа Рапота Даниила Юрьевича посвящена изучению особенностей развития детонации в жидких взрывчатых веществах. Исследованы как процессы инициирования, так и процессы распространения детонационных волн в зарядах с оболочкой. В качестве объектов исследования выступали смеси на основе нитрометана (НМ), тетранитрометана (ТНМ) и бис-(2-фтор-2,2-динитроэтил)-формалия (ФИФО) с такими разбавителями как: нитробензол, метанол и ацетон.

В настоящее время жидкие взрывчатые вещества и смеси на их основе активно применяются во взрывных экспериментах. Также известны попытки внедрения таких ЖВВ в состав ракетных топлив и смесевых ВВ. Высокая степень гомогенности, простота в использовании, возможность варьирования детонационных параметров в широком диапазоне значений путём добавления инертных разбавителей и сопоставимость этих параметров с твёрдыми взрывчатыми веществами - объясняют рост интереса к рассмотренным ЖВВ в мировой научной литературе. Однако, для повышения стабильности получаемых результатов и обеспечения безопасности работы с ЖВВ, необходимо понимание особенностей процессов инициирования и распространения детонационных волн. К этим особенностям относятся: неустойчивость детонационного фронта обусловленная влиянием оболочки заряда; неустойчивость детонационного фронта связанная с кинетикой химических реакций; а также неоднородность инициирования, характерная для вырожденного теплового взрыва, характерная для ТНМ и ФИФО. Теории, описывающие эти явления, не в полной мере объясняют наблюдаемые процессы. В частности, одномерная модель инициирования ЖВВ, предложенная ещё в 60-х годах прошлого века, работает для невырожденного теплового взрыва, в то время как для ряда применяемых в науке и технике образцов характерен вырожденный тепловой взрыв. При этом применимость симметричных схем развития неустойчивостей детонационного фронта неочевидна по отношению к наблюдаемым на скоростных фотографиях картинам. Поэтому проведение исследований, позволяющих как расширить спектр рассматриваемых веществ, так и уточнить теоретические положения для них, является актуальной задачей.

Новизна исследования и полученных результатов диссертации

Диссертация Рапота Д.Ю. направлена на развитие представлений о процессах, протекающих при детонации жидких взрывчатых веществ. Поставленная автором цель предусматривала проведение комплексного исследования широкого спектра образцов и явлений при помощи различных методик. Сочетание методик сверхскоростной фоторазвёртки, многоточечного лазерного интерферометра и новейшей сверхскоростной фотосъёмки камерой НАНОГЕЙТ-22/16 позволило не только получить интересные и уникальные результаты, но и **впервые** провести сопоставление данных, полученных при помощи различного регистрирующего оборудования.

В ходе работы автором было проведено 3 серии экспериментов для 17 различных образцов, представляющих из себя как чистые ЖВВ, так и их смеси с инертными разбавителями. Подобные широкомасштабные исследования уже сами по себе **являются уникальными** и проведены **впервые**. Эксперименты логически разделены на: исследование неоднородностей инициирования, исследование волн срыва реакции на краях зарядов и исследование ячеистой структуры детонационного фронта. По каждой

серии автором сделан обоснованный вывод, опирающийся на полученные им результаты и изученную теоретическую базу.

В экспериментах с инициированием ЖВВ был обнаружен не наблюдавшийся ранее очаговый характер зарождения детонации в гомогенных смесях ТНМ, а также в чистом ФИФО. На основе полученных кадров были определены скорости роста отдельных очагов. При помощи интерферограмм установлено влияние очагов на поле скоростей в области их возникновения и слияния. Проведено сравнение полученных результатов с одномерным сценарием ударно-волнового инициирования ЖВВ и определена возможность его применения в отношении исследованных образцов.

Кадры развития волн срыва реакции в смесях на основе ТНМ свидетельствуют об отсутствии описываемой в теории симметричности этого процесса и наличии ассиметричных циркуляций. В смеси ФИФО с метанолом при соотношении компонентов 70/30 установлен необычный характер влияния оболочки при приближении к критическому диаметру, что приводит к возникновению структур, которые на фоторазвёртках можно интерпретировать как иной тип неустойчивости.

Полученные в экспериментах результаты наблюдения ячеистой неустойчивости чётко дают понять, что формируемые фронтом структуры уникальны для каждого вещества и его смесей с инертными разбавителями. Впервые установлено, что изменение концентрации компонентов смеси приводит к изменению размеров и скоростей развития неоднородностей. Автором рассчитаны все необходимые скорости эволюций и размеры наблюдаемых структур.

В заключении экспериментальной части Рапорта Д.Ю. предложен метод сопоставления результатов, полученных при помощи сверхскоростного фоторегистратора и сверхскоростной фотокамеры. По результатам такого сопоставления автор исчерпывающе объясняет процессы, происходящие при детонации исследованных образцов.

Значимость для науки и практики полученных результатов

Теоретическая значимость исследования заключается в развитии теории детонации гомогенных ЖВВ. Опираясь на результаты, приведённые Рапорта Д.Ю. в диссертации, можно приступить к корректировке теорий описывающих развитие различных типов неустойчивостей детонации в смесях на основе НМ, ТНМ и ФИФО. Отдельного внимания заслуживает описание ранее не наблюдавшегося очагового характера инициирования гомогенных взрывчатых веществ.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования теоретических и методических разработок автора при изучении процессов детонации ЖВВ, а также в областях связанных с проектированием детонационных пропульсивных установок и созданием смесевых взрывчатых веществ на основе НМ, ТНМ и ФИФО.

Результаты диссертации могут быть использованы для уточнения расчётных и теоретических моделей поведения жидких взрывчатых веществ в условиях ударно-волнового нагружения.

Обоснованность и достоверность основных положений, результатов и выводов диссертации

Обоснованность и достоверность экспериментальных результатов, полученных в диссертации, гарантируется использованием отработанных методик постановки

экспериментов, стабильной воспроизводимостью результатов экспериментов, согласованностью и непротиворечивостью результатов, полученных с помощью различных современных методов анализа, соответствием полученных результатов данным, имеющимся в научной литературе и логической целостностью работы. Применявшиеся в работе экспериментальные методики и приборы, отличающиеся высоким уровнем разработки, позволили получить надежные количественные и качественные результаты.

Всего по теме исследования было опубликовано 4 статьи в ведущих изданиях согласно перечню ВАК РФ и в 5 сборниках тезисов всероссийских и международных конференций. Основные результаты диссертации многократно подвергались независимой положительной экспертизе и вошли в доклады на Всероссийских и международных конференциях и симпозиумах. Таким образом, можно сделать вывод, что научные положения, выводы и рекомендации, которые содержатся в диссертации Рапота Д.Ю., являются в достаточной степени обоснованными и достоверными.

Дискуссионные положения и замечания по диссертации

При общей положительной оценке диссертационного исследования Рапота Даниила Юрьевича, следует отметить ряд дискуссионных вопросов и замечаний:

1. Снимки свечения детонационного фронта в экспериментах с волнами срыва реакции и ячеистой неустойчивостью были получены на расстоянии менее 3-х калибров от плоскости инициирования. Является ли детонационный фронт на этом этапе развития стационарным, а следовательно, могут ли наблюдаемые явления быть следствием каких-то переходных процессов?
2. Приведённые в работе профили массовой скорости для различных образцов получены с использованием отражателей (фольг) разной толщины. При этом отсутствует объяснение влияния циркуляции ударных волн, переотражающихся от границ фольги, на общую структуру получаемых профилей? Это важно при условии использования 7-ми микронных фольг в экспериментах по изучению ячеистой неустойчивости.
3. Существует ряд статей, в которых рассматривается образование областей с различной плотностью, так называемых глобул, при смешении двух и более взаиморастворимых жидкостей. В качестве доказательств этой теории авторы приводят исследования характера распространения звуковых волн в таких растворах. Ввиду отсутствия упоминаний в работе Рапота Д.Ю. подобных исследований, возникает закономерный вопрос, возможно ли, что именно эти включения и приводят к образованию ячеистой структуры детонационного фронта и проводились ли подобные эксперименты по распространению звуковых волн в рамках подготовки используемых в диссертации образцов?
4. На рисунке 48 сокращение названия смеси ФИФО/МЕ указано неверно (вероятно, имеется в виду ФИФО/М в соответствии с принятым ранее сокращением).

Возникшие вопросы и замечания не снижают высокой оценки диссертации в целом. Исходя из объёма, количества и качества проведённых исследований, считаю, что диссертация Рапота Д.Ю. является законченной квалификационной работой.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней

Диссертационная работа Рапота Даниила Юрьевича на тему «Экспериментальное исследование инициирования и эволюции неустойчивости детонации жидких взрывчатых веществ» выполнена на высоком научном уровне, содержит ряд новых актуальных и достоверных результатов.

Опубликованные работы соответствуют содержанию диссертации. Автореферат полностью соответствует диссертации. Результаты в должном объеме представлены в публикациях.

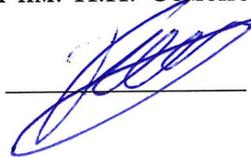
Диссертация соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, и «Изменений, которые вносятся в Положение о присуждении ученых степеней», утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации №355 от 21 апреля 2016 г. Диссертация Рапота Д.Ю. является законченной научно-исследовательской работой в области детонации жидких взрывчатых веществ и соответствует требованиям ВАК к диссертациям, предъявляемым на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Автор диссертации Рапота Даниил Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,

заведующий лабораторией взрывных процессов в конденсированных средах
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального
исследовательского центра химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии
наук

Комиссаров Павел Владимирович



Комиссаров П.В.

24 июля 2024 г.

Тел: +74959297229

Email: komissarov@chph.ras.ru

Подпись Комиссарова П.В. заверяю:
ученый секретарь ФИЦ ХФ РАН
Ларичев М.Н.



ФИЦ ХФ РАН

119991, Москва, ул. Косыгина, 4