

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук Сатонкиной Натальи Петровны на диссертационную работу Рапота Даниила Юрьевича «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.

Диссертационная работа Рапота Д. Ю. посвящена экспериментальному исследованию жидких взрывчатых веществ (ЖВВ), чистых и с органическими разбавителями. Для экспериментов использованы следующие методы: сверхскоростная фоторегистрация в режиме щелевой развертки, измерение лазерным интерферометром VISAR, покадровая регистрация сверхскоростной камерой НАНОГЕЙТС 22/16. Результаты, полученные разными методами, сопоставлены между собой и с известными из литературы данными.

Актуальность избранной темы

Экспериментальное исследование конденсированных взрывчатых веществ (ВВ) сопряжено с рядом сложностей, в список которых входит малое время процесса и высокие термодинамические параметры. К конденсированным ВВ относятся и жидкие (ЖВВ), обладающие рядом особенностей, которые накладывают ряд ограничений на способы исследования. ЖВВ, находящиеся в жидком агрегатном состоянии при температурах их служебного применения, находят широкое применение. Так, ЖВВ используются при дистанционном минировании местности, разминировании, в качестве подрывного заряда для различных областей применения, а также при торпедировании нефтяных и газовых скважин, взрывном бурении и т. п. ЖВВ используются в качестве активной жидкой основы для получения гелеобразных, пастообразных, пластизольных ВВ и порохов. ЖВВ с добавками поверхностно-активных веществ используются для изготовления взрывчатых пен для обработки металлов. Таким образом, вследствие широкого применения и ограниченного исследования изучение детонации ЖВВ является крайне актуальной задачей.

Новизна диссертации связана с небольшим количеством работ, посвященных этой теме. В диссертационной работе получены интересные результаты исследований детонации чистых и разбавленных ЖВВ при околокритических режимах. Необходимо отдельно отметить волны срыва, исследование которых позволяет взглянуть под другим углом на природу критического диаметра заряда жидкого ВВ.

Достоверность и обоснованность сформулированных научных достижений основана на экспериментальных данных, полученных с применением скоростных высокоточных методов диагностики, пригодных для исследования

специфической среды детонационной волны и многократно подтвердивших свою надежность и достоверность.

Структура диссертационной работы

Диссертационная работа содержит 130 страниц, состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, который содержит 82 наименования, в работе приведены 58 рисунков и 2 таблицы.

Во **введении** обоснована актуальность исследования, сформулированы цели и задачи работы, проиллюстрированы научная новизна результатов и их теоретическая и практическая значимость, перечислены использованные методы исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена изложению современных представлений о процессе детонации, рассмотрены модель ЗНД, инициирование детонации ударом, природа критического диаметра, упоминается теория Кобылкина, изложена теория срыва детонации, а также подробно рассмотрены неустойчивости, возникающие при детонации жидких ВВ.

Во **второй главе** изложено описание использованных экспериментальных методов: электроконтактные датчики для измерения скорости детонационного процесса, сверхскоростная камера НАНОГЕЙТ-22/16, сверхскоростной фоторегистратор, лазерный доплеровский измеритель скорости границы, описаны принципы их работы. Приведены схемы измерений и экспериментальные параметры схем.

В **третьей главе** представлены результаты измерений. В качестве объекта исследований выбраны тетранитрометан (ТНМ), нитрометан (НМ) и бис-(2-фтор-2,2-динитроэтил)-формаль (ФИФО), для разбавления использованы нитробензол (НБ), метанол (М), ацетон (Ац), исследования проведены как с чистыми веществами, так и со смесями ЖВВ+органический разбавитель в разных пропорциях. Работа содержит большой объем иллюстративного материала, приведена фоторазвертка свечения при инициировании исследованных веществ, результаты сверхскоростной фотосъемки свечения детонационного фронта при инициировании и в процессе, показана ячеистая структура детонационной волны, приведены профили скорости границы раздела фольга — водяное окно на разном расстоянии от экрана.

В **заключении** содержатся выводы по основным результатам работы.

К заслугам автора следует отнести следующее:

1. Прделана большая экспериментальная работа по исследованию ЖВВ с использованием разных методов исследования, разработан метод сопоставления результатов разных методик.

2. При инициировании ударом ТНМ наблюдается развитие реакции по модели горячих точек. Таким образом, в диссертационной работе получено прямое экспериментальное подтверждение развития реакции согласно теории горячих точек при ударно – волновом воздействии на ВВ.

3. Наблюдение несимметричных волн срыва.

Имеется ряд недостатков.

Есть большое количество ошибок: пунктуация – стр. 3 – 9, 13, 16 и т. д.; неправильные окончания слов стр. 4, 6; стр. 42 «не мене»; несогласованность в одном предложении форм глаголов стр. 9; стр. 42 рис. 14 нет пунктуации в подписи. Стр. 27 рис. 6 использовано обозначение «с», которое ранее означало скорость звука (стр. 15, 16, 19), на рис. 6 это концентрация, но пояснения нет, на странице 28 «с» имеет значение теплоемкости. На стр. 31 указана неверная ссылка. Стр. 33 рисунок 9, указано со ссылкой на него про одномерную детонацию, а на рисунке, как минимум, двумерная. На рисунке 11 стр. 36 присутствуют две различные линии, каждая из них определяет «границу зоны химической реакции», это требует пояснений.

Много ошибок в списке литературы: из списка литературы работа 8 автором указан Л.П. Орленко, но он не автор, под его редакторством издана книга, авторов 15 человек; ссылка 17, следовало упомянуть всех авторов книги «Детонационные волны в конденсированных средах»; некоторые ссылки неполные (27, 79, 81 и т. д.). Ссылки 55 и 56 дублируют друг друга. Рис. 43 в подписи неверно указана ссылка.

На рис. 13 стр. 40 уместно было указать ось симметрии, в подписи к рисунку нет пояснений обозначений, которые присутствуют на других рисунках. Некоторые рисунки (рис. 20, 23, 24, 26) на английском языке, что выбивается из стиля оформления диссертации. Рисунок 36 нет масштаба. Рис. 28 стр. 65 перепутаны обозначения 1 и 2. Рис. 20 стр. 51 нет пояснения и обозначений к некоторым приведенным точкам.

Стр. 4 интерпретация материалов работы 13 как неустойчивости при детонации твердых ВВ спорная, авторы даже не упоминают термин «неустойчивость». Поэтому непонятно что имел ввиду автор диссертации, ссылаясь на эту работу при описании процесса неустойчивости в твердых ВВ.

Стр. 40 говорится о ширине зоны реакции, хотя в контексте сказанного не очень понятно что понимать под этим термином.

Стр. 40 и стр. 47 употребляется слово расчёт, хотя из дальнейшего следует, что это рассмотрение. Стр. 48 для двух коэффициентов вязкости даны разные обозначения без пояснений, что предполагает разные величины.

Стилистические неточности:

Стр. 55 «с течением времени точки сливаются и затухают». Точки не затухают.

Стр. 57 упоминается скорость U , но на рисунке, который используется для иллюстрации, есть только U с индексами, термин не описан, по-видимому, это ΔU .

Стр. 59 «объем ударно-сжатого вещества имеет длину 43 мкм», объем измеряется в других единицах.

Стр. 64 упоминается об алюминиевой фольге на границе ВВ-вода, но на рисунке, для которого приведены пояснения, нет соответствующих упоминаний.

Было бы уместно более контрастно разделить методики, так как при использовании одинаковой терминологии начинается путаница в понимании какая схема и с какими параметрами использована. Так, в таблице 2 стр 77 даны параметры схемы, причем для экрана указана толщина. На стр. 80 упоминается толщина экрана 4 мм, такая толщина в таблице 2 не фигурирует. Означает ли это, что таблица относится только к схеме эксперимента, приведенной на рис. 32, или есть другие трактовки?

Для рисунка 34 указаны геометрические размеры, которые отсутствуют для других схем.

На стр. 78 — 79 указаны первая и третья серии экспериментов, второй серии не упоминается, возникает вопрос – так как в таблице 2 даны три серии, относятся ли эти упоминания к ней?

На стр. 80 указано, что в каждом эксперименте контактным датчиком измерялась скорость детонационной волны, указана погрешность измерения, но, к сожалению, значение скорости детонации в диссертации не приведено, хотя эта информация очень полезна при интерпретации экспериментальных данных, эволюция этой величины, например, для тетранитрометана при его разбавлении представляет определенный интерес.

Стр. 93 при сопоставлении профилей 1.8 мм и 3.8 мм упоминаются разные единицы – мкм и мм, что затрудняет понимание.

В автореферате на фотографиях отсутствует привязка по времени, а там, где есть масштаб, не приведена его величина (рис. 4 автореферата).

Диссертация недостаточно хорошо структурирована, нет единого стиля для оформления, встречаются разные варианты. Достаточно большой объем заимствований.

Вопросы по существу диссертационной работы:

1. Стр. 82, рис. 35 почему яркость свечения чистого тетранитрометана при детонации меньше, чем разбавленного? Рис. б – является ли форма сигнала (реакция начинается на краях и позднее в центре) характерной для состава ТНМ/М 85/15 или это стохастическое отклонение? Исследовалось ли где преимущественно происходит зарождение первых очагов (ближе к границе или центру заряда)?

2. Рис. 35 б, нет обсуждения ячеистой структуры через 3 мкс после возникновения реакции.

3. На фотографиях скоростной фотосъемки непонятно от какого момента идет отсчет, который соответствует первому не подписанному кадру (рис. 37 – 42, 45, 46, 50, 52 – 55). Рис. 37, указанные интервалы времени между кадрами на два порядка больше рассмотренных на стр. 59 и в работе 56 при том же процессе развития детонации. Чем объясняется такое отличие временных масштабов?

4. Можно ли предсказать характер неустойчивости для смеси ТНМ+НМ?

5. Какова была интенсивность ударного воздействия? В таблице 2 стр. 77 даны параметры материала экрана и его толщины, которые указывают на разную интенсивность, но ее значение найти в работе не удалось.

6. Чем можно объяснить отсутствие слабого свечения на рис. 39, 40, 41, предшествующего детонационной вспышке (преднагрев), которое есть на рис. 37 и 38 (чистый ТНМ), и образование ярких очагов без предшествующего свечения? Локализованность области преднагрева (почему не возникает несколько таких областей, расположенных в разных точках сечения, если это равновероятно для рис. 39, 40, 41) также требует пояснений.

7. Какова природа уменьшения периода индукции при разбавлении тетранитрометана по сравнению с чистым ВВ?

8. Какие практические выводы из результатов диссертации, полезные для применения в настоящий момент, можно использовать?

9. На рисунке 58 для одинакового состава ТНМ/М 50/50 наблюдаются качественно разные профили – один с химпиком, второй начинается с ямки, с чем это связано?

Отмеченные недостатки не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы Рапота Д.Ю. Выбранные для изучения вопросы хорошо аргументированы, представляются актуальными, последовательность изложения результатов представляется логичной и обоснованной. Полученные результаты являются достоверными и научно обоснованными, что подтверждается публикациями в ведущем научном журнале «Физика горения и взрыва». Автореферат соответствует содержанию диссертации.


Диссертация Рапота Д.Ю. соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, и «Изменений, которые вносятся в Положение о присуждении учёных степеней», утверждённых 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 учёной степени кандидата физико-математических наук. Автор диссертации Рапота Даниил Юрьевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности «1.3.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества».

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук,
специальность 1.3.17 – химическая физика, горение и взрыв,
физика экстремальных состояний вещества,
ведущий научный сотрудник,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт гидродинамики имени М. А. Лаврентьева СО РАН,
630090, г. Новосибирск, проспект академика М. А. Лаврентьева, д. 15,
тел.: 8(383)3333249,
e-mail: snp@hydro.nsc.ru.

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

Сатонкина Наталья Петровна

 Сатонкина Н.П.
27 августа 2024г.

Подпись Сатонкиной Н.П. заверяю
учёный секретарь ФГБУН ИГиЛ СО РАН,
к.ф.-м.н.



Хе А. К.
27.08.2024.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт гидродинамики имени М. А. Лаврентьева СО РАН,
630090, г. Новосибирск, проспект академика М. А. Лаврентьева, д. 15,
тел: 8(383)3332166, e-mail: alekhe@hydro.nsc.ru