

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук, профессора Романенко Анатолия Ивановича на диссертационную работу Сатонкиной Натальи Петровны «Физическая модель электропроводности при детонации конденсированных взрывчатых веществ вида $C_aH_bN_cO_d$ »,

представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.17 - химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества

Диссертационная работа Сатонкиной Натальи Петровны посвящена экспериментальному исследованию и теоретическому моделированию электрических свойств при детонации органических конденсированных взрывчатых веществ вида $C_aH_bN_cO_d$ и определению ведущего механизма проводимости, а также применению электропроводности для диагностики процессов в детонационной волне.

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка условных обозначений, сокращений и терминов, списка литературы и приложения. Диссертация изложена на 222 страницах, содержит 21 таблицу и 107 рисунков. Библиография состоит из 327 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность научной работы, описана степень разработанности темы исследования, сформулированы цели и задачи, показаны новизна исследования, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту положения, достоверность и апробация результатов работы.

В **первой главе** приведен обзор научных результатов по теме исследований электрических свойств конденсированных взрывчатых веществ при детонации. Описана и подробно разобрана экспериментальная схема измерения электропроводности при детонации конденсированных взрывчатых веществ. Приведены результаты численного моделирования, подтверждающие эффективность экспериментальной схемы измерения.

Во **второй главе** приведены результаты экспериментального исследования при детонации гексогена, октогена, тэна, триаминотринитробензола, тротила, бензотрифуроксана, гексанитростильбена и эмульсионного взрывчатого вещества, для всех перечисленных веществ приведены профили электропроводности при детонации заряда разной плотности. Для гексогена, октогена, тэна, тротила и бензотрифуроксана проведено сравнение экспериментальных данных с известными из литературы данными. Исходя из концепции корреляции области высокой электропроводности и химика и связи величины электропроводности в зоне реакции и в точке Чепмена-Жуге с содержанием углерода, а также влияния усреднения по пространству, использованных в литературных источниках, показано хорошее согласие данных. Профили электропроводности при детонации зарядов бензотрифуроксана, гексанитростильбена, CL-20 и эмульсионного взрывчатых веществ при разной плотности получены впервые.

Для взрывчатых веществ со средним содержанием углерода профиль электропроводности при детонации состоит из узкой области высоких значений и последующей зоны со слабым изменением электропроводности, пространственно соответствующей волне разгрузки. Для всех исследованных индивидуальных взрывчатых веществ получен рост максимального значения и электропроводности в точке Чепмена-Жуге с увеличением плотности. Для тротила высокой плотности профиль электропроводности определяется способом изготовления заряда и не содержит резких пространственных градиентов.

В **третьей главе** сформулирована и обоснована модель электропроводности детонирующих конденсированных взрывчатых веществ вида $C_aH_bN_cO_d$ на основе экспериментальных данных по электропроводности как собственных, так и литературных. Модель основана на предположении об определяющем значении для проводимости

содержания углерода. Для доказательства обоснованности этого предположения продемонстрировано отсутствие взаимосвязи между давлением, температурой, содержанием химических элементов и соединений, из которых состоят продукты детонации (за исключением углерода) и электропроводности. Проведен сравнительный анализ ширины области высокой электропроводности и профилей массовой скорости, как известных из научной литературы, так и в максимально близкой постановке, причем диаметр зарядов составил от 8 мм до 120 мм. Доказано, что максимальное значение достигается внутри зоны реакции, а область высоких значений электропроводности коррелирует с зоной химической реакции. В сохраненных продуктах детонации взрывчатых веществ с разным содержанием углерода найдены углеродные структуры, которые являются фрагментами сформировавшихся в зоне реакции проводящих углеродных «сеток» подтверждающих идею контактной проводимости по углеродным структурам. **Получена корреляция содержания углерода и значения электропроводности**, причем максимальное значение зависит от содержания углерода в молекуле, в то время как в точке перегиба на профиле электропроводности получена взаимосвязь со свободным конденсированным углеродом, который остается после завершения химических реакций.

В четвертой главе описано применение электропроводности для диагностики зоны химической реакции детонационной волны. С использованием методов статистического анализа доказано влияние дисперсности зерна гексогена на ширину зоны реакции во всем диапазоне плотностей заряда при необнаруженной взаимосвязи со значением температуры. Рассмотрены механизмы кинетики химических реакций, распространенные в настоящее время. Проведено сравнение длительности зоны реакции, полученной из разных моделей численным экспериментом, с продолжительностью высокой электропроводности, показано ожидаемое из числовых моделей отсутствие сильной зависимости экспериментального значения длительности от плотности заряда взрывчатых веществ и развиваемой в детонационной волне температуры. Показана необходимость развития альтернативных имеющимся экспериментальных методов исследования зоны реакции основанных на новых принципах моделей кинетики.

Приведены данные томографического исследования зарядов тротила разного способа изготовления. Показана взаимосвязь интенсивности кинетики химических реакций и амплитуды электропроводности. Сформирована доказательная база, подтверждающая состоятельность и высокую чувствительность электропроводности к процессам в детонационной волне, что делает электропроводность эффективным инструментом для исследования.

В заключении приведены основные результаты исследований.

Актуальность диссертационной работы продиктована необходимостью получения новых экспериментальных данных о зоне реакции при детонации конденсированных взрывчатых веществ в условиях экстремально высоких и агрессивных термодинамических параметрах, что сильно ограничивает круг пригодных экспериментальных методик. *Очевидным и актуальным аспектом работы является возможность оценки значения электропроводности по химической формуле, без проведения взрывного эксперимента.*

Обоснованность научных положений и выводов обеспечивается использованием численного моделирования экспериментальной схемы измерения, подтверждающей высокое разрешение методики, применением к результатам экспериментального исследования методов статистического анализа, согласием с экспериментальными данными, полученными разными методиками.

Достоверность полученных результатов подтверждается их внутренней самосогласованностью, а также согласием с экспериментальными данными разных авторов, полученными, в том числе, и другими методами.

К несомненным достоинствам диссертации можно отнести следующие ее особенности:

- 1) Впервые сформулирована модель электропроводности для детонирующих взрывчатых веществ вида $C_aH_bN_cO_d$, подтвержденная большими количеством полученных в работе экспериментальных данных. Причем при разработке и анализе применимости модели использованы методы и подходы предложенные Пайерлсом и Самарским с Михайловым.
- 2) Использование Метода томографического исследования с использованием синхротронного излучения полученного на ускорителе ВЭПП – 3 (Институт ядерной физики Сибирского отделения Российской академии наук).
- 3) Тщательный анализ продуктов взрывов с помощью просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения, демонстрирующей наличие электропроводящих протяженных структур из углерода.
- 4) Опубликование результатов в 31 издании в том числе в 20 зарубежных (6 с импакт фактором выше 4, а одна – 5.12).

Замечаний, по существу, к диссертационной работе Сатонкиной Натальи Петровны у меня нет. Тем не менее, диссертация не лишена недостатков:

Присутствует некоторое количество опечаток:

- 1) «*электрический*» а надо «*электрических*» - стр. 15;
- 2) «*магнитный потом*» а надо «*магнитный поток*» - стр. 24;
- 3) «*масчитанный ток*» а правильно «*ми* » - стр. 40;
- 4) «с использованием *свечение* ударного фронта в жидкости и *скорость* прошедшей волны» а правильно «с использованием *свечения* ударного фронта в жидкости и *скорости* прошедшей волны»- стр.56;
- 5) «*Эта* сопротивление обладает заметную емкость, и контур соединения, хотя и небольшой, имеет паразитную индуктивность» а правильнее «*Это* сопротивление обладает заметной емкостью, и контур соединения, хотя и небольшой, имеет паразитную индуктивность» - стр. 70;
- 6) В слове *интенсификация* - стр. 81 - лишний пробел (*интенсификация*);
- 7) Конец 83 страницы «увеличении уменьшении» непонятно!;
- 8) «*дутонаразделции*» - стр.18 3 абзац -- что это означает?;
- 9) «*кислразделородного*» - стр. 138 -- что это?;
- 10) «*вогнутой внутренней поверхности*» - стр.169 по-видимому имелось в виду «*вогнутой внутренней поверхностью*».

Перечисленные выше замечания не меняют общей положительной оценки работы. Диссертационная работа является законченной научно-исследовательской работой, а ее результаты имеют научную и практическую значимость. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных научных журналах входящих в список ВАК.

Содержание автореферата соответствует основным идеям и выводам диссертации.

В целом можно заключить, что диссертационная работа «*Физическая модель электропроводности при детонации конденсированных взрывчатых веществ вида $C_aH_bN_cO_d$* » соответствует требованиям «Положениям о присуждении ученых степеней» п. II «Критерии, которым должны отвечать диссертации на соискание ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013, а ее автор Сатонкина Наталья Петровна заслуживает присуждение ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.17 - химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Официальный оппонент

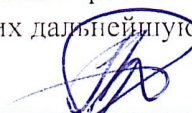
Романенко Анатолий Иванович

доктор физико-математических наук, профессор, специальность 1.3.8.

Физика конденсированного состояния, 1.4.4. Физическая химия,

главный научный сотрудник лаборатории физики низких температур ИНХ СО РАН,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской
академии наук (ИНХ СО РАН),
630090, Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 3,
телефон +7 952 905 07 83,
электронная почта: anatoly.roman@gmail.com, air@niic.nsc.ru.

Я, Романенко А.И., согласен на включение моих персональных данных в документы,
связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.


Подпись

/ Романенко А.И. /

«Подпись Романенко А.И. заверяю»

Учёный секретарь ИНХ СО РАН,
(наименование организации)


Подпись

/ Тересова О.А. /



6 сентября 2023 г.
Дата