

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Прууэла Эдуарда Рейновича

«Скоростная рентгеновская томография и уравнение состояния продуктов детонации конденсированных взрывчатых веществ»,

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 Прууэла Эдуарда Рейновича «Скоростная рентгеновская томография и уравнение состояния продуктов детонации конденсированных взрывчатых веществ» посвящена совершенствованию экспериментальных динамических методик рентгенографических исследований детонации конденсированных взрывчатых веществ и разработке методов расчетно-теоретического анализа полученных экспериментальных данных. Особенностью работы является её направленность на разработку исключительно прецизионных рентгенографических методов исследования взрывных процессов.

Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованных источников из 172-х наименований, четырёх приложений; общий объем диссертации составляет 207 листов.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследований, раскрыта научная новизна и практическая значимость результатов, полученных автором диссертации, обоснована их достоверность, определен личный вклад, сформулированы положения, выносимые на защиту, приведены данные о публикациях и апробации полученных результатов.

В первой главе приведены обзор пучковых методов диагностики быстропротекающих процессов и сравнительные технические характеристики синхротронной станции для исследования детонации на ускорительном комплексе «ВЭПП-3» ИЯФ СО РАН. Показана научная ниша станции; отмечено, что параметры станции являются уникальными.

Приведено описание методики проведения рентгенографических экспериментов по исследованию детонационных течений.

Вторая глава посвящена описанию метода восстановления пространственного распределения плотности по зарегистрированному в эксперименте распределению массы толщины, а также методам определения пространственных распределений газодинамических параметров течения: по восстановленному полю плотности, давления и по подбору параметров уравнения состояния продуктов взрыва.

Автором подробно описаны алгоритмы перечисленных методов восстановления пространственного распределения механических параметров детонационного течения для цилиндрических зарядов: плотность, давление, вектор массовой скорости, также продемонстрирована возможность определения параметров Чепмена-Жуге и адиабат разгрузки в виде политропного уравнения состояния. Показана работоспособность этих методов для широкого спектра взрывчатых составов.

В третьей главе приводится описание разработанной автором модели уравнения состояния реагирующих плотных газов с учетом потенциала взаимодействия молекул равновесного химического состава. На основе описанного алгоритма разработан программный комплекс, позволяющий проводить расчеты термодинамических параметров плотных газов в условиях взрыва для диапазона температур от нормальных условий до 5000 К и давлений до 50 ГПа. Параметры модели протестированы на имеющихся разнообразных экспериментальных данных.

В заключении приведены основные результаты исследований.

Актуальность диссертационной работы продиктована необходимостью получения новых и прецизионных экспериментальных данных о детонации взрывчатых веществ, а также необходимостью создания численных моделей, описывающих их поведение и откалиброванных на результатах экспериментов. Перечисленные направления востребованы при разработке и эксплуатации устройств военного назначения, в добывающей промышленности, при решении вопросов безопасности обращения.

Наиболее значимыми новыми научными результатами, полученными в диссертационной работе, являются:

1. Осуществление реконструкции синхротронной станции для исследования детонации на ускорительном комплексе «ВЭПП-3»

ИЯФ СО РАН с обеспечением уникальных и рекордных технических характеристик для объектов исследования, состоящих из органических материалов (из элементов C, H, N, O) с массовой толщиной от 0.1 до 5 г/см²: пространственное разрешение $dx=0.1$ мм, ширина поля регистрации $\Delta x=40$ мм, временное разрешение $dt=124$ нс, интервал регистрации $\Delta t=12.4$ мкс.

2. Разработка алгоритмов восстановления пространственного распределения плотности, а впоследствии - и других механических газодинамических параметров течения (давления, вектора массовой скорости, параметрического баротропного уравнения состояния) детонирующих зарядов цилиндрической формы по зарегистрированному полю массовой толщины. Вместо обратного преобразования Абеля, которое для зашумленного изображения по определению является неустойчивым вблизи оси симметрии, автором предложен уникальный и оригинальный метод пространственно-временной аппроксимации поля плотности и последующем подборе параметров этого распределения с наилучшим соответствием массовой толщине, зарегистрированной в эксперименте. Этот метод не только сделал доступным восстановление газодинамических параметров вблизи оси симметрии, но и позволил сохранить наиболее критичный параметр всей методики измерений – временное разрешение, что важно для исследования узкой зоны химических реакций.

3. Разработка модели уравнения состояния смеси реагирующих плотных газов для условий взрыва, основанной на методах статистической физики и молекулярной динамики, и реализация этой модели в программном комплексе, позволяющем проводить онлайн расчеты термодинамических параметров реагирующих газов и течений ударных и детонационных волн.

Обоснованность научных положений и выводов обеспечивается за счет использования в работе подходов радиационной, химической физики, газодинамики, статистической физики, строгих математических и программных методов вычислений.

Достоверность полученных результатов подтверждается их внутренней согласованностью и согласованностью с многочисленными экспериментальными данными, полученными авторами других работ.

На мой взгляд, диссертации не достаёт более пристального внимания вопросу точности измерений. В газодинамике существует ряд технических задач, где требуется точное определение пространственного распределения плотности материалов с помощью радиографических методов. Так как в данной работе распределения всех газодинамических параметров течения определяются из распределения плотности, то точность их определения напрямую зависит от точности определения последней. Точность первичных измерений относительно невысока. Автором указано, что точность единичного измерения массовой толщины (на луче), может достигать 10 %, а, возможно, и более. Предложенный автором метод пространственно-временной аппроксимации плотности позволяет избавиться от статистического шума. Диссертационная работа выиграла бы, если бы автором были представлены оценки систематической погрешности определения плотности при использовании её сеточной аппроксимации. Учитывая, что перед экспериментом проводится калибровка каждого канала, систематическая погрешность, вероятнее всего будет малой. Однако такая информация способствовала бы повышению доверия ко всему методу восстановления пространственного распределения плотности, включая процедуру нахождения распределения плотности, соответствующего минимуму невязки с полем первичного сигнала регистратора.

Автор отмечает, что точность измерений ограничена временным разрешением синхротронной станции и может повышена за счет набора статистики. На данном этапе такая задача не ставилась и, по-видимому, это - задача будущего, для строящихся и вновь проектируемых измерительных комплексов.

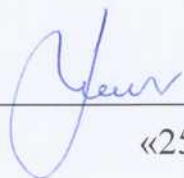
Указанные недостатки не умаляют общего положительного впечатления от диссертации, как от законченной научно-технической работы, выполненной на современном уровне, в которой применен уникальный подход к определению газодинамических параметров течения с помощью радиографической диагностики.

Работа написана строгим научно-техническим языком, логична и структурирована, аккуратно оформлена и сопровождается качественным иллюстративным материалом.

Диссертационная работа «Скоростная рентгеновская томография и уравнение состояния продуктов детонации конденсированных взрывчатых веществ» соответствует требованиям п.9 "Положения о присуждении ученых степеней" утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 (в действующей редакции), а её автор, Прууэл Эдуард Рейнович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.17 - химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Официальный оппонент
Лебедев Александр Иванович
доктор физико-математических наук по специальности
01.04.17 - химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества
главный научный сотрудник института физики взрыва (ИФВ)
Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский
Федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-
исследовательский институт экспериментальной физики»
(ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ») Государственной корпорации по атомной
энергии «Росатом»,
пр. Мира, д.37, г. Саров, Нижегородская обл., 607188
тел. 8(83130)20111
электронная почта: postmaster@ifv.vniief.ru (с пометкой
«Для Лебедева А.И.»)

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

 /А.И. Лебедев/
«25» октября 2022 г.

Подпись Лебедева А.И. заверяю
Ученый секретарь
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»



 /В.В. Хижняков/