

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
«СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКО-  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ БЮРО «ТЕХНОЛОГ»

(ФГУП «СКТБ «ТЕХНОЛОГ»)

192076, Санкт-Петербург, Советский пр., 33-а  
Тел.: (812) 244-73-73, факс: (812) 700-23-10, (812) 700-36-37  
Электронная почта: [info@sktb-technolog.ru](mailto:info@sktb-technolog.ru)

ИНН 7811000580 / КПП 781101001

15.11.2022 № 3620/033

/О направлении автореферата диссертации /

ФГУП «СКТБ «Технолог» направляет отзыв на автореферат диссертации  
Э.Р.Прууэла «Скоростная рентгеновская томография и уравнение состояния  
продуктов детонации конденсированных взрывчатых веществ».

Приложение: Отзыв на автореферат – 2 экз. на 3 л. каждый.

Заместитель директора-  
главного конструктора



С.А.Душенок

Исп. И.В.Краушлиш  
Тел: (812) 655-70-95

ФГБУН Институт химической кинетики  
и горения им. В.В.Воеводского СО РАН  
ученому секретарю диссертационного  
совета 24.1.1501  
И.П.Позднякову

630090, Новосибирск  
ул. Ильича, д.8

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Прууэла Эдуарда Рейновича «Скоростная рентгеновская томография и уравнение состояния продуктов детонации конденсированных взрывчатых веществ», представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Диссертационная работа Э.Р. Прууэла относится к области физики экстремальных состояний вещества и посвящена комплексному экспериментальному и теоретическому исследованию параметров детонации конденсированных ВВ, прежде всего уравнения состояния продуктов и структуре детонационного течения.

При экспериментальном определении плотности продуктов детонации в момент взрыва использована модернизированная автором взрывная камера с рентгеновской установкой, позволяющая сканировать и регистрировать процесс детонации ВВ с частотой 124 нс и экспозицией 1нс.

В результате сканирования процесса детонации цилиндрических образцов одновременно в одном из сечений перпендикулярно оси заряда и вдоль оси заряда можно с помощью специальных методов обработки эксперимента получить картину распределения газодинамических параметров течения продуктов детонации (ПД).

Результаты экспериментов, приведенных в работе, позволяют рассчитывать изоэнтропы ПД и в дальнейшем строить уравнения состояния ПД эмпирического или иного вида. Таким образом, в работе Э.Р.Прууэла разработана уникальная и весьма информативная методика исследования процесса детонации ВВ.

Помимо экспериментального определения газодинамических параметров и изоэнтропы ПД, в работе описан один из теоретических подходов к построению уравнения состояния «из первых принципов». Методом молекулярной динамики проведено моделирование поведения небольшого ансамбля молекул. Парное взаимодействие молекул между собой описано потенциалом exp-6. Представленные в автореферате данные по расчету параметров детонации ТЭНа и тротила, полученные при использовании разработанного теоретического подхода, удовлетворительно согласуются с экспериментом и расчётами по программе СНЕЕТАН.

Актуальность работы несомненна и определяется постоянно растущим интересом исследователей к новым методам изучения состояния вещества при экстремальных условиях. Особый интерес в связи с появлением мощных газодинамических программ, позволяющих моделировать сложные трёхмерные задачи физики взрыва, вызывают точные эмпирические или полуэмпирические

уравнения состояния ПД. Надёжных и относительно недорогих методов получения экспериментальных изоэнтроп, пригодных для построения уравнений состояния ПД, очень немного. В связи с чем развитие перспективного метода, описанного в автореферате, несомненно, актуально.

**К наиболее научно значимым и новым результатам** относятся:

- разработка уникальной, одной из немногих в мире, экспериментальной станции для исследования детонационных процессов с помощью синхротронного излучения;
- оригинальная методика, позволяющая на основе поля экспериментальных точек рентгеновской тени определять пространственное распределение газодинамических параметров ПД при детонации ВВ, а затем вычислять изоэнтропы;
- реализация одного из подходов к построению теоретического уравнения состояния для ПД.

**Практическая значимость результатов**, полученных в работе, обусловлена применением новой методики исследования ВВ и других материалов. Заинтересованность в применении этой методики проявили такие организации, как Российские ядерные центры (г. Саров и г. Снежинск), а также АО «ГосНИИмаш» г. Дзержинск. Появилась научная школа в ИХКГ СО РАН, специализирующаяся на проведении исследований с помощью синхротронного излучения.

Автором был осуществлён не только большой объём экспериментальных исследований, но и разработана очень специфичная и практически недоступная для применения без современных компьютерных программ методика обработки экспериментальных данных.

Из приведенных в автореферате результатов работы следует, что диссертация Э.Р. Прууэла научна значима, как фундаментальное исследование, в котором получены новые экспериментальные данные в области химической физики, горения и взрыва, физики экстремальных состояний вещества. Безусловна и практическая значимость диссертации, результаты которой могут найти применение в использовании и развитии уникального метода исследования ВВ. Предсказательными возможностями теоретического уравнения состояния может воспользоваться любая организация, имеющая доступ к серверу автора.

Приведённые в автореферате данные надёжны и достоверны, их интерпретация, основные выводы и заключения обоснованы.

Вместе с тем по тексту автореферата возникают некоторые вопросы и замечания:

- 1 Описывая метод обработки рентгеновской тени при сканировании заряда перпендикулярно его оси, автор не указывает, каким образом он определяет граничные и начальные условия по давлению для характеристик течения. Вероятно, это происходит при совмещении с результатом одновременного сканирования по оси, перпендикулярной направлению детонации, однако в тексте автореферата об этом не сказано.
- 2 В тексте один раз упоминается о том, что погрешность методики зависит от времени между кадрами, 124нс. Нигде в тексте не приведён анализ

относительных ошибок при определении газодинамических параметров течения – объёма, давления, массовой скорости ПД.

- 3 Очень скупо в автореферате автором представлены результаты измерений параметров ВВ, практически без конкретных цифр. Этим же недостатком страдают представленные данные по расчетам с применением теоретического уравнения состояния. В связи с этим очень сложно оценить качество теоретического уравнения состояния.

Приведенные замечания не отражаются на общей положительной оценке диссертации, являющейся фундаментальным исследованием, решающим важные практические задачи.

Работа прошла всестороннюю апробацию - результаты представлены 30 докладами (2001 - 2022 г.) на ряде авторитетных российских и международных конференциях, а также опубликована 41 статья, из них 14 статей с определяющей ролью автора, в журналах, рекомендованных ВАК.

Таким образом диссертация Э.Р.Прууэла «Скоростная рентгеновская томография и уравнение состояния продуктов детонации конденсированных взрывчатых веществ» является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические и методические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. Это соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденному Постановлением Правительством Российской Федерации от 24.09.2013 № 842.

Автор диссертации Э.Р.Прууэл заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.7 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Отзыв составил

Кандидат технических наук,  
начальник сектора  
отдела 66 ФГУП «СКТБ «Технолог»



В.А.Вирченко

Подпись В.А.Вирченко подтверждаю

Заместитель директора-главного конструктора  
ФГУП «СКТБ «Технолог», докт. техн. наук




С.А.Душенок