

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕХАНИКИ  
им. А.Ю. ИШЛИНСКОГО  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИПМех РАН)**

пр. Вернадского, д.101, к.1, г. Москва, 119526  
Тел. (495) 434-00-17 Факс 8-499-739-95-31  
ОКПО 02699323, ОГРН 1037739426735  
ИНН/КПП 7729138338/772901001

«Утверждаю»

Директор ИПМех РАН  
академик РАН С.Т. Суржиков



30.11.2017 г

30.11.2017 № 11804/01-2171.2-620

На № \_\_\_\_\_

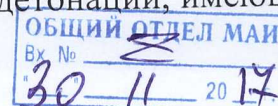
### ОТЗЫВ

ведущей организации «Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН)» на диссертацию Никитина Алексея Дмитриевича «Математическое моделирование детонации алюминизированных взрывчатых веществ», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы»

Диссертационная работа Никитина А.Д. посвящена экспериментально-теоретическому изучению способов повышения общей энергии взрыва, импульса и метательного действия заряда ВВ при добавлении алюминия. В случае участия алюминия во вторичных реакциях за детонационной волной классические программы термогазодинамических расчетов, основанные на стандартном уравнении состояния продуктов взрыва Джонсона-Уилкинса-Ли или Беккера-Кистяковского-Вилсона, не обеспечивают достаточно точного описания детонации и наблюдаемых экспериментальных эффектов. Поэтому тема диссертации, направленная на совершенствование моделей актуальна в теоретическом и практическом отношениях.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, приведен обзор текущего состояния проблемы, определены область исследования, научная новизна, сформулирована цель, обоснована достоверность и практическая ценность работы, приведены данные об апробации и публикациях, сформулированы основные результаты, выносимые на защиту, описана общая структура работы.

**Первая глава** содержит обстоятельный анализ состояния исследований конденсированных взрывчатых веществ с металлическими добавками. Рассмотрены работы по термодинамическим методам расчета параметров детонации, имеющиеся



компьютерные программы термогазодинамических расчетов, основанные на классических уравнениях состояния продуктов взрыва.

**Во второй главе** подробно описаны схемы эксперимента и полученные **новые экспериментальные результаты:**

1) Для широкого диапазона физико-химических свойств в диссертации изучено влияние добавок алюминия на параметры детонации взрывчатых веществ с отрицательным нулевым и положительным кислородным балансом.

2) Обнаружено существенное влияние процессов догорания продуктов детонации алюминизированного взрывчатого состава в воздухе на метательное действие и скорость расширения продуктов детонации.

3) Выяснено, что энергия сгорания алюминия реализуется в осевом и радиальном направлениях неравномерно и убывает с ростом толщины оболочки.

4) Следует отметить вклад автора в компьютерную обработку результатов эксперимента. Для этого автор разработал алгоритмы и создал на языке C++ **две новые программы** (ПОРС-1 и ПОРС-2) для обработки рентгеновских снимков и определения скоростей разлета оболочек под действием детонационных волн.

**В третьей главе** представлены результаты численного моделирования детонации алюминизированных взрывчатых составов с учетом дополнительного энерговыделения.

Результаты расчетов получены с помощью известного пакета программ RUSS-2D, в котором детонация ВВ и газодинамика продуктов взрыва рассчитывалась по схеме С.К.Годунова, а деформации упругопластических оболочек рассчитывались по схеме М.Уилкинса с учетом накопления повреждаемости и разрушения.

**Отметим полученные новые расчетные результаты:**

1) Проведено численное моделирование прохождения детонационной волны по частице алюминия.

2) Предложено новое эволюционное уравнение для расчета выделяемой энергии при сгорании алюминия.

3) Предложена модификация уравнения состояния продуктов детонации, учитывающая время сгорания алюминия и количество выделенного тепла.

4) Рассчитаны процессы радиального и торцевого расширения продуктов детонации продуктов детонации.

5) Предложена модель, согласно которой определяющую роль в наблюдаемых скоростях расширения продуктов детонации играют множественные кумулятивные струи, образующиеся на поверхности прессовых зарядов ВВ в процессе разлета продуктов детонации.

6) Проведено численное моделирование процессов детонации алюминизированных ВВ с учетом дополнительного энерговыделения и его влияния на метательное действие оболочек и пластин.

7) Показано, что расчетные данные по скорости метания пластин и оболочек сильно зависят от времени выделения дополнительной энергии в продуктах детонации.

### **Научная новизна работы состоит в следующем:**

1) проведено обстоятельное экспериментальное исследование влияния алюминиевых добавок на параметры детонации ВВ с различным кислородным балансом. Исследованы особенности влияния догорания продуктов детонации алюминизированных ВВ на метательное действие и скорость расширения продуктов детонации.

2) численными расчетами, выполненными с помощью пакета программ RUSS-2D, показано, что процесс горения частиц алюминия возможен в зоне химической реакции. Для учета вторичного энерговыделения в пакет программ введено модифицированное уравнение состояния ВВ и расчетами установлено, что метательная способность алюминизированных зарядов сильно зависит от времени начала выделения дополнительной энергии в различных слоях ВВ. Варьированием времени начала выделения дополнительной энергии удалось описать эффекты, наблюдаемые в экспериментах.

**Достоверность результатов** диссертации подтверждена корректной постановкой задач в рамках механики сплошных сред, проверками используемых численных методов на решениях модельных задач и сравнениями с результатами экспериментальных исследований.

**Практическая значимость диссертации** обусловлена новыми экспериментально-теоретическими результатами о процессах детонации алюминизированных ВВ и их действии на пластины и оболочки. В результате обеспечена и обоснована возможность численно прогнозировать результаты экспериментов для различных массово-габаритных характеристик зарядов и целенаправленно улучшать их характеристики.

### **По содержанию исследования имеются следующие замечания:**

1. В барокамере наряду с воздухом можно было бы использовать химически инертный газ, например, азот. Тогда частицы алюминия не сгорали бы.
2. В тексте диссертации количество аббревиатур слишком велико.
3. В автореферате в таблице 2 следовало бы указать среднеквадратическое отклонение для скоростей метания пластин и оболочек.

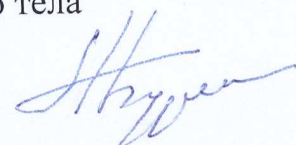
Сделанные замечания не умаляют достижений автора и являются пожеланиями.

Результаты работы достаточно полно отражены в публикациях в научных изданиях. Используемые в работе методы обоснованы и соответствуют целям решаемых задач. Автореферат соответствует содержанию текста диссертации.

Диссертация и отзыв рассмотрены и одобрены на заседании научного семинара лаборатории моделирования в механике деформируемого твердого тела ИПМех РАН, протокол №1 от 17.11.2017.

Рассмотренная диссертация представляет собой законченную научную работу в области течения, деформации и разрушения сжимаемых сред при наличии ударных волн и фазовых переходов. Тематика диссертации соответствует паспорту специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы». Диссертация удовлетворяет всем требованиям Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842 «О порядке присуждения ученых степеней» и заслуживает положительной оценки, а её автор, Никитин Алексей Дмитриевич, заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Ведущий научный сотрудник  
лаборатории моделирования в механике деформируемого твердого тела  
ФГБУН Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,  
Доктор физико-математических наук Николай Георгиевич Бурого  
ФГБУН Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН.  
119526, Москва, пр. Вернадского, 101, корп. 1  
Тел. (495)434-41-35  
e-mail: burago@ipmnet.ru



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук  
(ИПМех РАН)  
Адрес: 119526 Россия, г. Москва, пр-т Вернадского, д.101, корп.1  
Тел.: +7(495)434-00-17 факс: +7-499-739-95-31  
E-mail: ipm@ipmnet.ru  
Веб-сайт: <http://www.ipmnet.ru>