



А О «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»  
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
МАШИНОСТРОЕНИЯ ИМЕНИ В.В.БАХИРЕВА»  
А О «ГосНИИмаш»

пр. Свердлова 11а, г. Дзержинск, Нижегородская обл., Россия, 606002  
Телетайп 151617 КЛИН, тел. +7 (8313) 367-000, факс 360-830,367-100, E-Mail: [niimash@mts-nn.ru](mailto:niimash@mts-nn.ru)  
ОКПО 07512007 ОГРН 1085249000650 ИНН/КПП 5249093130/525350001

JOINT STOCK COMPANY «STATE SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE  
OF MECHANICAL ENGINEERING AFTER V.V. BAKHIREV»

11a, Sverdlov st., Dzerzhinsk, Nizhny Novgorod Region, Russia, 606002

Phone: +7 (8313) 367-000  
Fax: +7 (8313) 367-100

№ \_\_\_\_\_  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Клюстера Ивана Александровича

на тему «Исследование процессов взрывчатого превращения конденсированных и газообразных взрывчатых систем с целью обеспечения безопасности транспортных операций и их хранения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.17 – «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества»

Диссертационная работа Кюстера И.А. направлена на исследование процессов взрывчатого превращения смесей взрывчатых веществ с конденсированными веществами и взрывоопасных смесей газов. **Целью** работы является снижение степени риска при работах с взрывчатыми веществами и взрывоопасными смесями газов, в том числе при их транспортировке. **Актуальность работы** Кюстера И.А. определяется тем, что предметом её исследования является определение чувствительности взрывчатых смесей к механическим воздействиям и тротилового эквивалента их взрыва, которые необходимы для прогнозирования степени опасности в

различных условиях.

**Научная новизна** работы заключается в следующих наиболее существенных результатах:

- разработан новый метод расчета скорости детонации смесей бризантных ВВ с жидкими невзрывчатыми веществами. Метод опирается на использование данных по скорости звука, и для рассмотренных экспериментальных данных имеет максимальное расхождение расчетной и экспериментальной скорости детонации  $\sim 3\%$ ;

- разработан теоретический способ определения тротилового эквивалента конденсированных ВВ и паровоздушных смесей. Показано, что данный метод расчета тротилового эквивалента исследуемых продуктов, на базе справочных данных, позволяет с хорошей степенью точности определить значения тротилового эквивалента;

- впервые обнаружено аномальное энерговыделение в зоне расширения продуктов детонации при соотношении конечной и начальной плотностей, равном 0,9;

- предложен метод «флегматизации» паровоздушной смеси углекислым газом и показана эффективность этого способа даже при незначительном разбавлении.

**Обоснованность и достоверность** научных результатов подтверждается использованием современных экспериментальных методик определения параметров инициирования детонации и общепринятых методик оценки характеристик чувствительности к механическим воздействиям. Эксперименты по инициированию зарядов исследуемого в работе взрывчатого вещества были выполнены на установке Института проблем химической физики РАН. Перед проведением эксперимента автором были выполнены термодинамические расчеты параметров детонации,

которые показали высокую сходимость с экспериментальными результатами.

**Значимость** результатов работы для **науки и практики** заключается в разработке теоретических методов расчета скорости детонации гексогена с флегматизирующими добавками и тротилового эквивалента действия взрыва газовых смесей, а также во внедрении результатов исследований в научный процесс в ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» и ОАО «РЖД».

Диссертационная работа Клюстера И.А. изложена на 111 страницах, включает 32 рисунка и 14 таблиц, состоит из введения, пяти глав, выводов и списка литературы, в котором указано 115 наименований.

Содержание данной диссертационной работы прошло апробацию на Московском семинаре по физике взрыва при институте химической физики РАН в городе Дзержинске (2011 г.), на Московском семинаре по физике взрыва в городе Самара (2013 г.), на международной конференции «XVII Харитоновские тематические научные чтения» в городе Сарове (2015 г.).

Во **введении** автором обоснованы актуальность темы исследования и научная новизна работы, сформулированы цели и задачи исследования, показана практическая значимость работы.

В **первой главе** представлен аналитический обзор научных публикаций о существующих методах определения чувствительности взрывчатого вещества к удару, методов определения детонационных и ударно-волновых характеристик. Автором показано, что наиболее простым и удобным методом является электромагнитный, позволяющий одновременно определять скорость детонации и массовую скорость. Рассмотрены методики расчета параметров детонации в паровоздушных смесях, классический гидродинамический метод, а также динамический метод с использованием местной скорости звука в исходном газе.

Во **второй главе** установлены параметры чувствительности водонаполненного гексогена к удару с пропорциональным соотношением 75/25. Обоснована целесообразность пропорционального соотношения гексогена и воды. По результатам проделанных опытов зафиксировано, что водонаполнение гексогена приводит к значительному снижению чувствительности исследуемого продукта к удару.

В **третьей главе** приводятся уже известные данные исследования детонационных характеристик смесей гексогена с жидкими невзрывчатыми веществами. Автором отмечено, что все исследования относятся к перекристаллизованному гексогену с минимальным количеством дефектов и плотностью зерен 1,80 г/см<sup>3</sup>.

Проведено экспериментальное определение зависимости параметров детонации системы гексоген-наполнитель от диаметра зарядов. Получены критический диаметр водонаполненного гексогена (19 мм) и критическое давление инициирования заряда водонаполненного гексогена (3,4 ГПа). Показано, что добавление к гексогену жидкостей приводит к снижению детонационной способности. Экспериментальным методом получены новые результаты параметров детонации смесей на основе гексогена, флегматизированного различными по физическим и химическим свойствам жидкими веществами (бромформ, ацетон, спирт, формамид, вода, этаноламин, ацетамид и гидрозингидрат). Предложен новый метод расчета скорости детонации смесей на основе гексогена.

**Четвёртая глава** посвящена разработке нового способа определения тротилового эквивалента конденсированных взрывчатых смесей. В данной главе рассматривается работа взрыва, совершаемая продуктами детонации взрывчатого вещества при их расширении от параметров точки Жуге до степени расширения  $\rho_2/\rho_1$ . Установлено, что наиболее точным расчетом

будет отношение значения работы продуктов детонации исследуемого взрывчатого вещества к значению работы продуктов детонации тротила в точке  $\rho_2/\rho_1 = 0,9$ . Полученные значения тротилового эквивалента конденсированного взрывчатого вещества по предложенному методу удовлетворительно совпадают с расчетами по другим известным методам.

В пятой главе исследованы паровоздушные смеси насыщенных углеводородов. Определены средние концентрации паровоздушных смесей метана, этана и пропана в возвратной железнодорожной цистерне. Изучалась работа взрыва газовых смесей при расширении продуктов взрыва от параметров точки Жуге до степени расширения  $\rho_2/\rho_1$  и изменение тротилового эквивалента в разных точках расширения продуктов детонации. Предложен и обоснован способ флегматизации паровоздушной смеси.

Далее формулируются основные результаты проведенных исследований, выводы и приводится список использованных источников.

В целом, результаты, полученные Клюстером И.А. в ходе данной диссертационной работы, имеют важное значение для развития химической физики, горения и взрыва, физики экстремальных состояний вещества.

Качество оформления диссертации, как по уровню подачи содержательного материала, так и по информативности представленных таблиц, графиков и рисунков производит хорошее впечатление.

Автореферат диссертационной работы правильно отражает содержание диссертации.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли широкую апробацию, в том числе на международных научно-технических конференциях. Соискатель имеет 6 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 4 статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ и 1 патент.

Положения и выводы диссертации Клюстера И.А. являются новыми и убедительно обоснованными. Опубликованные автором научные труды по данной теме достаточно полно отражают содержание диссертационной работы. Автореферат соответствует тексту диссертации.

Вместе с тем следует отметить некоторые недостатки работы:

1. Имеется несоответствие задач исследования и его результатов. Пунктами 1, 2 «Задач исследования» выдвигается определение чувствительности водонаполненного гексогена и определение детонационной способности водонаполненного гексогена, а в разделах «Практическая значимость...» и «Научные положения и результаты ...» не представлены соответствующие им результаты. Вопросам определения чувствительности к механическим воздействиям в работе уделено большое внимание, но не содержится рекомендаций по использованию полученных данных.

2. Таблица 3 (автореферат стр. 6) не содержит сведений о количественном соотношении взрывчатого вещества и флегматизирующей добавки. Кроме того, в главах 2, 3 не представлена исчерпывающая информация о мерах препятствующих изменению соотношения в смесях «ВВ-жидкость» за счет испарения жидкости. Также не обсуждается вопрос влияния различной степени растворения гексогена в жидкостях.

3. График 6 (автореферат стр. 9) не совсем корректен: если автор решил соединить экспериментальные точки, и полученная линия имеет три выраженных участка, то надо дать какие-то пояснения. Также координаты точек на графике имеют пять значащих цифр, а значения в таблицах 5, 7 (автореферат стр. 9, 13,14) имеют до шести значимых цифр, а такая точность ни экспериментом и ни расчетом не обеспечивается.

Указанные замечания все же не снижают общего уровня диссертации Клюстера И.А., которая представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научно-техническом

уровне. Результаты исследований, отраженные в данной работе, являются составной частью большой многоплановой работы по исследованию процессов взрывчатого превращения смесей взрывчатых веществ с инертными добавками и газообразных взрывчатых систем.

Диссертационная работа отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор, Клюстер Иван Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

### **Официальный оппонент**

Начальник отдела  
экспериментального исследования  
взрывных процессов, д.т.н.



Александр Сергеевич  
Смирнов

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018

«Подпись Александра Сергеевича Смирнова заверяю»:  
Ученый секретарь,  
к.х.н.



Наталья Викторовна  
Долганова

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018