



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
(ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, www.kstu.ru, тел. 231-42-00, факс 238-56-94, office@kstu.ru  
ОКПО 02069639, ОГРН 1021602854965, ИНН/КПП 1655018804/165501001

№ \_\_\_\_\_

Казань



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе  
ФГБОУ ВО КНИТУ,

проф. \_\_\_\_\_ Сабирзянов А.Н.

« 12 » \_\_\_\_\_ 2018 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Казанский национальный исследовательский  
технологический университет»

на диссертационную работу Клюстера Ивана Александровича  
на тему **«Исследование процессов взрывчатого превращения конденса-  
рованных 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

Проблема обеспечения безопасности при транспортировке опасных гру-  
зов, таких как взрывчатые вещества или взрывоопасные газы, всегда является

актуальной задачей требующей изучения для конкретных условий их эксплуатации, например при транспортировании или погрузочно-разгрузочных работах. Известны случаи не санкционированного взрыва таких веществ, приводящие к аварийным ситуациям и инцидентам, влекущие за собой человеческие жертвы и разрушению материальных ценностей. Поэтому тема диссертационной работы Клюстера И.А. является актуальной, представляет несомненный научный интерес, а результаты исследований могут быть рекомендованы к использованию для промышленного внедрения.

Диссертационная работа изложена на 111 листах, содержит 32 рисунка, 14 таблиц, состоит из введения, пяти глав, выводов, библиографического списка из 115 наименований.

**Во введении** дана общая характеристика диссертационной работы, обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цели работы и основные положения, отражены научная новизна и практическая ценность. Представлены сведения об апробации и достоверности научных результатов работы.

**В первой главе** автор анализирует современное состояние проблемы. Приведены общие сведения при перевозке опасных грузов. Представлен анализ существующих методов определения чувствительности взрывчатых веществ к удару, используемых в различных странах. Изложены методы определения детонационных и ударно-волновых характеристик. 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 с точки зрения классического гидродинамического метода, а также динамического метода.

**Во второй главе** автором рассмотрены параметры чувствительности водонаполненного гексогена к удару с пропорциональным соотношением 75/25. Данное соотношение компонентов было взято с учетом полного заполнения объема промышленного гексогена водой, имеющего дефекты и

внутренние неоднородности. Достоверность полученных результатов обеспечена применением методики по ГОСТ 4545-88. Автором установлено, что при соотношении гексогена к воде 75/25, частота составляет 0 процентов, а нижний предел составляет более 400 мм.

**Третья глава** посвящена исследованию влияния не только воды на параметры детонации промышленного гексогена, но и различных по физическим и химическим свойствам наполнителей. Соотношение наполнителя и гексогена было выбрано с учетом полного заполнения объема заряда, занимаемого воздухом. Таким образом, объемное соотношение наполнителя не изменялось, а изменялось только его весовое соотношение, которое зависит от плотности. Также определялась зависимость параметров детонации системы гексоген-наполнитель от диаметра зарядов и различных наполнителей. Установлен минимальный диаметр заряда, составляющий 60 мм для получения корректных данных по детонационным характеристикам. В главе также исследуются детонационные характеристики наполненных систем гексогена, различных по физическим и химическим свойствам непосредственно на параметры детонации и время химической реакции в режимах близких к идеальным. Анализ скорости звука и скорости детонации наполненных систем позволяет установить некоторые закономерности их взаимосвязи. А в случае аппроксимации данных значений была установлена линейная зависимость скорости детонации от скорости звука.

В данной главе также рассматривается чувствительность ВВ к ударно-волновому воздействию. Для этого используются два метода, одним из которых является метод определения давления входящей ударной волны, при котором не происходит развитие процесса взрывчатого превращения, и давление, при котором происходит постепенное возрастание параметров вплоть до развития установившейся детонации. Показано, что развитие процесса для насыпного гексогена происходит при давлении 0,2 ГПа, а водонаполненного при 3,4 ГПа. Для более точного механизма развития взрывчатого превращения использована методика торможения границы раздела инертный наполни-

тель – ВВ, предложенная К.К. Шведовым. На основании проведенных исследований установлено, что основным механизмом разложения гексогена в наполненных системах является механизм взрывного горения с переходом в тепловой взрыв.

**В четвертой главе** разрабатывается способ теоретического определения тротилового эквивалента конденсированного ВВ. Показано, что для определения тротилового эквивалента необходимо знать значение максимальной работы, которую совершают продукты взрыва (ПВ) при своем адиабатическом расширении до давления окружающей среды.

Максимальное значение тротилового эквивалента в точке  $\alpha = 0,9$  подтверждает максимальный рост работоспособности ВВ на данном участке и может служить в качестве критерия работоспособности исследуемого ВВ.

Предложенная методика расчета тротилового эквивалента конденсированных ВВ, на базе справочных данных, позволяет с хорошей степенью точности определить значения тротилового эквивалента.

**В пятой главе** исследовались паровоздушные смеси насыщенных углеводородов. Были определены средние концентрации паровоздушной смеси в порожней железнодорожной цистерне из под следующих взрывоопасных грузов: метана, этана и пропана. Также теоретически были рассмотрены бутан, ацетилен, бензин и ацетон, которые также перевозятся в цистернах железнодорожным транспортом. В соответствии с полученными данными изучались изменение работы взрыва ПД рассматриваемых веществ из точек Жуге до степени расширения и изменение тротилового эквивалента исследуемых веществ в разных точках расширения ПД.

Было предложено техническое решение, в результате которого железнодорожная цистерна оборудуется предохранительными щитами с системой вертикальных и горизонтальных усиливающих ребер, на платформе которой по обеим продольным сторонам дополнительно установлены по два съемных баллона с инертным газом ( $\text{CO}_2$ ), предназначенных для заполнения объема котла цистерны. Флегматизация паровоздушной смеси в котле железнодо-

рожной цистерне достигается тем, что заполнение инертным газом происходит через опущенный внутрь котла на глубину  $2/3$  диаметра Т-образный сифон. Таким образом, плавное заполнение внутреннего объема котла цистерны инертным газом приводит к вытеснению взрывоопасной паровоздушной смеси через верхний сливо-наливной вентиль. После опустошения четырех баллонов данный вентиль перекрывается, а объем котла цистерны остается полностью заполненным инертным газом.

**Научную новизну** работы представляют:

1. Разработанная методика определения скорости детонации наполненных систем гексогена;
2. Новая методика определения тротилового эквивалента ВВ.
3. Впервые обнаружено аномальное энерговыделение в зоне расширения продуктов детонации при соотношении конечной и начальной плотностей = 0,9.
4. Показано, что флегматизация паровоздушной смеси инертным газом ( $\text{CO}_2$ ) осуществляет не только разбавление горючей смеси, но и в случае возникновения процесса воспламенения, он усиливает процесс, направленный на компенсацию внешнего воздействия. Именно этот процесс позволяет даже при незначительном разбавлении паровоздушной смеси значительно снизить риск взрывного превращения.

**Практическая значимость** представленной диссертационной работы заключается:

- В разработке теоретического метода определения скорости детонации наполненных систем гексогена с использованием скорости звука и теоретического метода расчета тротилового эквивалента ВВ, основанный на параметрах детонации;
- Получении результатов теоретического расчета параметров детонации систем гексоген – наполнитель и паровоздушных смесей;

- получении методов расчета параметров детонации и тротилового эквивалента ВВ и паро-воздушных смесей, которые могут быть использованы при анализе степени их безопасности в различных условиях;

- В разработке способа повышения безопасности транспортных операций с паровоздушными смесями;

- Получении результатов повышения безопасности транспортировки и хранения ВВ;

- Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс и используются при подготовке и повышении квалификации работников в эксплуатационном вагонном депо Дема (ОАО «РЖД») г. Уфа, а также внедрены в учебный процесс на кафедре «Техносферная безопасность и сертификация производств» при выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ бакалавров по направлению 20.03.01 – Техносферная безопасность в ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» г. Самара.

**Достоверность** подтверждается использованием современных методик исследования ударно-волновых процессов и рекомендованных методик по определению чувствительности материалов к механическим воздействиям и современным представлениям по физике взрыва.

Диссертационная работа соответствует специальности 01.04.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества, прошла достаточную апробацию на международных и межвузовских научно-технических конференциях и симпозиумах: Московский семинар по физике взрыва при институте химической физике РАН (2011 г.), г. Дзержинск; Московский семинар по физике взрыва (2013 г.), г. Самара; доклад по теме диссертации (2014 г.), г. Самара; доклад по теме диссертации (2015 г.) г. Оренбург; XVII Харитоновские тематические научные чтения – Международная конференция «Экстремальные состояния вещества. Детонация. Ударные волны» (2015 г.), г. Саров.

К замечаниям по диссертационной работе следует отнести:

1. При определении чувствительности по ГОСТ 4545-88 жидконаполненных веществ желательно было бы провести испытания и в приборчике №3, как рекомендует данный ГОСТ.

2. Вывод о хорошей степени точности, предложенной в работе методики расчета тротилового эквивалента делается исключительно на теоретических представлениях. При этом в расчетах используются термодинамические коэффициенты взрыва, значение которых в работе не указаны.

Указанные замечания не снижают высокую научную ценность и практическую значимость представленной диссертации, являющейся завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные, технические и технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для обеспечения безопасности при эксплуатации взрывчатых веществ.

На основании вышеизложенного, можно сделать заключение, что работа Клюстера И.А. по актуальности, научной новизне и практической значимости удовлетворяет всем требованиям и критериям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям (п.7. «Положения ...ВАК»), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Отзыв составили:

Доцент каф. ТТХВ, \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ Марсов А.А.

Доцент Каф. ТТХВ \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ Мокеев А.А.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры ТТХВ ИХТИ КНИТУ (протокол №1 от « 03 » сентября 2018 г.).

Зав. кафедрой ТТХВ, профессор \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ Базотов В.Я.