

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
(ФИЦ КНЦ РАН)

**ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ
(ГоИ КНЦ РАН)**

ул. Ферсмана, 24, Апатиты,
Мурманская обл., Россия, 184209
Факс: (815 55) 74625
Тел.: (815 55) 74342, 79520
E-mail: root@goi.kolasc.net.ru

ОКПО 24903563, ОГРН 1025100508333
ИНН/ КПП 5101100280/511845007

от 03.12. 2018 г. № 226.04-24-217.9/132

На № _____ от _____.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ГоИ КНЦ РАН,
д.т.н. Лукичев С.В.



«3» декабря 2018 г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации
Горный институт – обособленное подразделение
ФГБНУ Федеральный исследовательский центр
«Кольский научный центр Российской академии наук»
(ГоИ КНЦ РАН)

на диссертацию **Горинова Сергея Александровича: «Научно-технические основы и технологии обеспечения устойчивой детонации эмульсионных взрывчатых веществ в скважинных зарядах»**, представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности **25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»**

На горнодобывающих предприятиях всего мира в настоящее время и в обозримом будущем основным методом подготовки горных пород и руд к экскавации и последующей транспортировке является их взрывное разрушение. В России, начиная с 80-х годов прошлого века, для разрушения горных пород нашли применение эмульсионные взрывчатые вещества (ЭВВ). Удачное сочетание относительной простоты технологии их изготовления, не дефицитность и дешевизна сырья, идущего на их изготовление, в сочетании с высокими потребительскими свойствами сделало данные взрывчатые вещества (ВВ) очень востребованными на рынке промышленных ВВ (ПВВ) как в России, так и за рубежом.

В настоящее время в России объем потребления ЭВВ составляет более половины всего объема ПВВ, при этом доля ЭВВ, сенсibilизированных газовыми порами, составляет более 80% от объема произведенных ЭВВ.

Однако при применении ЭВВ возникают трудности, связанные с недостаточно исследованными вопросами влияния рецептурно-технологических и микроструктурных характеристик данных ВВ на эффективность их инициирования и на обеспечение устойчивого распространения детонации во всей длине скважинных зарядов из рассматриваемых ВВ, что обусловлено значительными экспериментальными и аналитическими сложностями, возникающими при изучении указанных процессов.

Диссертационная работа Горинова С.А. направлена на разработку научно обоснованных положений и практических способов обеспечения инициирования и устойчивой детонации скважинных зарядов ЭВВ, что безусловно актуально и имеет важное научное и техническое значение как в развитии теории детонации гетерогенных

ВВ, каковыми являются ЭВВ, так и в развитии взрывных технологий, оказывающих большое влияние на эффективность горнодобывающей промышленности страны.

Рецензируемая диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемой литературы и приложений.

Во введении рассмотрены физико-химические и рецептурно-технологические особенности ЭВВ, позволяющие данным ВВ иметь высокие эксплуатационные характеристики и обладать значительной конкурентной способностью на рынке ПВВ.

Отмечено, что, несмотря на значительные усилия зарубежных и российских исследователей не до конца изучены процессы инициирования и распространения детонации в ЭВВ. Отсутствуют физико-математические модели детонации ЭВВ, учитывающие не только рецептурный состав, плотность эмульсии, плотность ЭВВ, радиус сенсibiliзирующих пор, но и размер частиц дисперсной фазы эмульсии и параметры инициирующего воздействия, что осложняет понимание причин неожиданных «срывов» детонации при ее распространении в скважинных зарядах и обоснование параметров промежуточных детонаторов (ПД) для инициирования ЭВВ. Данные обстоятельства не позволяют предложить научно обоснованные технологии взрывания зарядов ЭВВ, при которых будет наблюдаться как надежное инициирование, так и устойчивая детонация ЭВВ.

Решение данных проблемных вопросов, имеющих большое научное и прикладное значение, составляет цель диссертационного исследования.

Для решения поставленной цели во введении сформулированы идея работы, задачи исследований, показана научная новизна работы и ее достоверность, приведены научные положения, которые выносятся на защиту, отмечены основополагающее личное участие автора в постановке и решении задач исследований и их практическая значимость.

Первая глава посвящена аналитическому обзору. Диссертантом на основе изучения значительного количества литературных материалов рассмотрены научно-технические основы создания ЭВВ и выявлены проблемы, решение которых позволит повысить эффективность, надежность и безопасность применения ЭВВ.

Осуществлены обширные аналитические обзоры как моделей детонации ЭВВ, так и научно-технических основ выбора промежуточных детонаторов (ПД) для инициирования ЭВВ. Это позволило автору обоснованно сформулировать задачи исследований, включающие разработку физико-математической модели детонации ЭВВ, определение закономерностей распространения детонации по заряду ЭВВ, выявление условий «срыва» детонации, обоснование параметров ПД для инициирования ЭВВ и разработку технологий формирования и взрывания скважинных зарядов, при которых будет наблюдаться устойчивая детонация по всей длине заряда.

Вторая глава диссертации посвящена разработке и обоснованию физико-математической модели детонации ЭВВ, сенсibiliзированных газовыми порами. В основу описания детонационного процесса в ЭВВ, сенсibiliзированных газовыми порами, автором положена следующая схема. Данные ЭВВ являются пористыми веществами. В начальные моменты времени под действием фронтального детонационного давления вещество эмульсии в гидродинамическом режиме втекает в поры. Втекание происходит асимметричным образом. При этом плотность самого вещества эмульсии практически постоянна, а изменение плотности среды определяется уменьшением пористости. Это связано с тем, что сопротивление втеканию эмульсии в поры, обусловленное ее вязкостью и прочностью на сдвиг, чрезвычайно мало по сравнению с давлением во фронте УВ и модулем объемного сжатия эмульсии. В процессе втекания происходит локальный разогрев и последующее возгорание вещества эмульсии. Данный процесс осуществляется за счет совместного действия теплоты внутреннего трения при втекании эмульсии в пору и теплоты сжатых в пору газов. После возгорания вещества эмульсии в порах среды возникает противодавление, среда начинает воспринимать нагрузку, как непористое вещество. В среде резко возрастает давление (по закону ударной адиабаты). Одновременно начинает происходить разложение ВВ из центров «горячих

точек» в радиальном направлении. После слияния сфер горения происходит расширение газообразных продуктов взрыва, сопровождаемое падением давления и переходом на адиабату расширения газообразных продуктов детонации.

Вещество ЭВВ на начальном этапе уплотняется и вследствие асимметричности процесса втекания приобретает некоторую массовую скорость движения в направлении распространения детонационной волны. Эти обстоятельства делают необходимым при расчете детонационных параметров ЭВВ учет массовой скорости и плотности вещества ЭВВ в момент начала экзотермического разложения ЭВВ (момент перехода на ударную адиабату). Знание последнего параметра позволяет получить законченную систему уравнений для определения детонационных характеристик ЭВВ, основанную на законах сохранения энергии, импульса и уравнения газового состояния продуктов взрыва.

Результаты экспериментального изучения структуры окислительной фазы эмульсии позволили автору разработать алгоритм определения плотности вещества ЭВВ в момент начала его экзотермического разложения, что позволило на базе предложенной модели детонации ЭВВ разработать инженерную методику расчета их основных детонационных параметров с учетом рецептурно-технологических характеристик ЭВВ (плотности эмульсии, плотности и химического состава ЭВВ, размеров сенсибилизирующих пор и частиц дисперсной фазы эмульсии).

Результаты сравнения экспериментальных значений скорости детонации с расчетными показали хорошую сходимость.

В третьей главе диссертации рассмотрены вопросы устойчивости распространения детонации в скважинном заряде ЭВВ.

Автор представил результаты теоретического и экспериментального изучения устойчивости фронта детонационной волны при ее распространении в ЭВВ, сенсибилизированном газовыми порами. Экспериментально удалось показать, что в ЭВВ может наблюдаться режим ячеистой детонации. Теоретический анализ позволил установить условия возникновения данного режима.

Важность полученных результатов заключается в том, что, обрыв детонации или ее переход на низкоскоростной режим, обусловлен разрушением ячеистой структуры детонационного фронта (ликвидацией нейтральной устойчивости детонационного фронта) в ходе ее распространения по заряду переменной плотности.

Автору удалось показать, что величина детонационных параметров ЭВВ при детонации в режиме нейтральной устойчивости детонационного фронта зависит от величины инициирующего импульса.

Получен критерий оценки устойчивости распространения детонации по скважинному заряду ЭВВ, позволяющий с помощью разработанной методики расчета детонационных параметров ЭВВ определять момент разрушения ячеистой структуры детонационного фронта.

Четвертая глава диссертации носит экспериментально – теоретический характер и посвящена исследованию процессов инициирования детонации в зарядах ЭВВ промежуточными детонаторами, при этом рассмотрены три схемы: инициирование ЭВВ при фронтальном ударе продуктов взрыва промежуточного детонатора (ПД); инициирование ЭВВ при взрыве удлиненного (линейного) ПД; инициирование ЭВВ при взрыве системой сближенных (когерентных) сосредоточенных ПД.

Автор показал, что при выборе ПД для инициирования ЭВВ необходимо исходить из условия, что для возбуждения ЭВВ необходимо ударным воздействием создать в достаточном объеме ЭВВ необходимого давления при необходимой продолжительности действия. При этом автор отмечает, что данное условие возбуждения ВВ было предложено Ф.А. Баумом и А.С. Державцом в 60-х годах прошлого столетия при рассмотрении возбуждения детонации в порошкообразных и гранулированных аммиачно-селитренных ВВ.

На основании разработанной методики расчета детонационных параметров ЭВВ и обоснованного условия возбуждения ЭВВ автором разработаны методики определения

параметров ПД, в которых учитываются детонационные параметры и особенности детонационного фронта ВВ, из которых изготовлен ПД, диаметр взрывных скважин и акустическая жесткость окружающих заряд пород, химический состав, плотность и структура возбуждаемых ЭВВ.

Показано, что экспериментальные и расчетные значения скоростей детонации ЭВВ, вызванные взрывом различных ПД, имеют достаточное совпадение.

В пятой главе автором рассмотрены необходимые и достаточные условия для обеспечения устойчивой детонации ЭВВ в технологиях взрывного разрушения горных пород.

Автор показал, что при проектировании взрывных работ с применением ЭВВ для обеспечения прохождения детонационной волны по всей длине заряда необходимо учитывать структуру ЭВВ и рассчитывать плотность зарядов таким образом, чтобы на координатной плоскости (радиус поры; плотность ЭВВ) линия зависимости плотности ЭВВ от радиуса газовых пор для скважинных зарядов не пересекала линии, разграничивающей режимы нейтральной и абсолютной устойчивостей детонационного фронта; для обеспечения полноты скважинного заряда ЭВВ необходимо согласовывать параметры заряда ЭВВ и ПД, что достигается регулируемым воздействием на характеристики ЭВВ (начальная плотность, структура и рецептура), на конструкцию заряда ЭВВ и на параметры ПД, связанные как с его характеристиками (ВВ, из которого изготовлен ПД, размеры ПД), так и условиями его применения (место установки ПД в заряде ЭВВ, конструкция ПД, установка нескольких ПД – многоточечное инициирование и (или) встречное инициирование); ЭВВ с окислительной фазой из бинарного раствора аммиачной и кальциевой селитры инициируются ПД меньшей массы, чем ЭВВ с окислительной фазой из раствора аммиачной селитры (монораствор). Это объясняется тем, что ЭВВ на основе бинарного раствора имеют меньшие критический и предельный диаметры, чем ЭВВ на основе монораствора.

В заключении достаточно полно и аргументировано обобщены результаты диссертационного исследования.

Полученные автором решения подтверждаются экспериментальными данными и обладают научной новизной, необходимой для диссертационного исследования.

Научная новизна работы заключается в том, что:

- разработаны физико-математическая модель детонации ЭВВ и методика расчета детонационных параметров ЭВВ, впервые учитывающие не только рецептурный состав, плотность эмульсии, плотность ЭВВ, радиус сенсibiliзирующих пор, но и размер частиц дисперсной фазы эмульсии, а также параметры инициирующего воздействия, что позволяет осуществлять аналитическую оценку устойчивости распространения детонации в скважинном заряде ЭВВ;

- впервые установлено, что детонация в ЭВВ возможна в режиме однородного стационарного фронта детонационной волны или в режиме устойчивого возмущения поверхности фронта детонационной волны, при этом в случае устойчивого возмущения поверхности фронта детонационной волны происходит образование ячеистой структуры детонационного фронта;

- потеря устойчивости детонации в скважинном заряде ЭВВ обусловлена процессами, связанными с переходом детонации из режима ячеистой детонации на режим стационарного однородного фронта;

- определено аналитическое выражение, описывающее условия смены режимов распространения детонационной волны в скважинном заряде ЭВВ, что позволяет разрабатывать технологические способы обеспечения прохождения детонации по всей длине заряда;

- впервые получены расчетные зависимости для определения параметров промежуточных детонаторов (ПД) для инициирования ЭВВ, в которых учитываются детонационные и геометрические характеристики ПД и рецептурно-микроструктурные параметры ЭВВ;

- предложены технологические способы обеспечения детонации по всей длине скважинного заряда, основанные на создании условий для прохождения детонации по заряду без смены режимов распространения детонационной волны: выбор параметров ПД и места их установки, установка дополнительных ПД (многоточечное инициирование), изменение начальной плотности, микроструктуры и рецептуры ЭВВ.

Научная значимость работы соискателя состоит:

в разработке физико-математической модели детонации ЭВВ, которая позволяет учитывать размеры частиц окислительной фазы эмульсии и характеристики инициирующего воздействия на детонационные параметры ЭВВ;

в экспериментальном доказательстве и теоретическом обосновании существования ячеистой структуры детонационного фронта заряда ЭВВ;

в разработке критерия потери устойчивости детонационной волны при ее распространении по скважинному заряду ЭВВ;

в исследовании параметров ПД для инициирования детонации в ЭВВ.

В совокупности полученные результаты являются вкладом в развитие теории детонации многокомпонентных гетерогенных ВВ, составляющих основу ПВВ.

Практическая значимость диссертационных исследований заключается в том, что:

- предложены методы расчета плотности, рецептуры, микроструктуры, а также параметров и месторасположения ПД, обеспечивающие прохождение детонации по всей колонке скважинного заряда ЭВВ, что нашло непосредственное применение при ведении взрывных работ на карьере ОАО «Ураласбест»;

- разработаны рекомендации по применению удлиненных эмульсионных ПД, в которых учитываются рецептурные, микроструктурные характеристики инициируемых ЭВВ, диаметр взрывных скважин и крепость разрушаемых горных пород, что нашло практическое применение при обосновании для НАО «НИПИГОРМАШ» параметров согласованной системы «ЭВВ – эмульсионный ПД», адаптированной для условий применения;

- обосновано применение при подземных горных работах ЭВВ с окислительной фазой на основе бинарного раствора аммиачной и кальциевой селитр как имеющих меньшие критический и предельный диаметры, чем ЭВВ с окислительной фазой на основе раствора только аммиачной селитры, что позволяет добиваться большей надежности детонации ЭВВ в скважинах малого диаметра и осуществлять инициирование этих скважинных зарядов ПД меньшей массы, что использовано в техническом регламенте при изготовлении ЭВВ на предприятии по производству ЭВВ (рудник «Удачный» им. Ф.Б.Андреева АК «АЛРОСА» (ПАО)).

Достоверность научных положений и результатов диссертации обеспечивается использованием современных методов научного эксперимента, использованием методов математической статистики при обработке экспериментальных данных, применением специализированного инструментария и оборудования, достаточным совпадением расчетных и теоретических данных.

Замечания

1. Не совсем понятно, почему при высокой и устойчивой скорости детонации на начальном этапе 5500-6000 м/с происходят мгновенные скачкообразные переходы на низкоскоростные режимы детонации или даже обрывы детонационного процесса на расстояниях 15-20 калибров заряда от места инициирования. Ведь при одном и том же химическом и компонентном составе ЭВВ детонация и дальше должна происходить по всей длине колонки заряда.

2. Не приведена оценка влияния сжимаемости твердых продуктов детонации на параметры детонационного процесса.

3. Объектом исследования в работе являются процессы, происходящие при инициировании ЭВВ взрывом ПД и последующем распространении детонационной волны в ЭВВ, а не система «ЭВВ - ПД».

4. В работе не уделено внимания технико-экономическому анализу предлагаемых технических решений.

5. Отсутствует оценка экологического вреда при неполной детонации ЭВВ.

Отмеченные выше недостатки не снижают научной и практической значимости работы, выполненной в целом на высоком научно-техническом уровне.

Заключение

Диссертация выполнена автором самостоятельно, написана грамотно (за исключением нескольких опечаток), лаконично и доказательно. Автореферат достаточно полно отражает основные положения диссертационной работы.

Основные научные положения и результаты диссертационного исследования неоднократно обсуждались на международных и всероссийских конференциях и опубликованы в 28 печатных работах, в том числе в 16 статьях в изданиях, включенных в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук».

Тематика исследований, приведенных в диссертации, соответствует пункту 8 паспорта специальности 25.00.20 - «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Диссертация Горинова Сергея Александровича является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных исследований разработаны научно обоснованные положения и практические способы реализации устойчивой детонации зарядов ЭВВ, основанные на регулировании рецептуры, плотности и структуры ЭВВ и их инициирования в условиях скважинной отбойки горных пород, что является решением важной и актуальной научно-технической проблемы.

Диссертация удовлетворяет требованиям Положения ВАК России, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор – Горинов Сергей Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на заседании лаборатории «Технологических процессов при добыче полезных ископаемых» 03 декабря 2018 года, протокол № 7.

Заведующий лабораторией технологических процессов при добыче полезных ископаемых,
доктор технических наук



Козырев Сергей Александрович

184209, г. Апатиты, Мурманской области, ул. Ферсмана, дом 24

Горный институт – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ГоИ КНЦ РАН) - Главный научный сотрудник - Заведующий лабораторией.

Р.т. (81555)79527, Факс (81555)74625; root@goi.kolasc.net.ru

Согласен на обработку персональных данных.