

МАСЛОВ Илья Юрьевич

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВЗРЫВНОЙ ОТБОЙКИ
ОБВОДНЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ГЛУБОКИМИ СКВАЖИНАМИ С
ПРИМЕНЕНИЕМ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ
НА ОСНОВЕ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА**

25.00.20–Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная
аэрогазодинамика и горная теплофизика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2013

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Российском государственном геологоразведочном университете имени Серго Орджоникидзе»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Иляхин Сергей Васильевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Боровков Юрий Александрович

кандидат технических наук,
Оверченко Михаил Николаевич

Ведущая организация ЗАО «ПВВ»
(г.Междуреченск, Кемеровской обл.)

Защита состоится «20» июня 2013г. в 13-00 часов на заседании диссертационного совета Д.212.121.08 по защите докторских и кандидатских диссертаций при ФГБОУ ВПО Российском государственном геологоразведочном университете имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ)

Адрес: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, РГГРУ, комната 4-73

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГГРУ

Автореферат разослан «17» мая 2013 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, профессор

Е.Н. Холобаев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Важнейшей стратегической задачей горнодобывающего комплекса России, в условиях современной экономики, является обеспечение добычи и переработки минерального сырья для поставок конкурентоспособной товарной продукции на внешний и внутренний рынок.

В настоящее время, в России, вскрышные и добычные работы на горнодобывающих предприятиях осуществляются преимущественно с применением буровзрывных работ (БВР) и на ближайшую перспективу альтернативы им нет. В связи с увеличением глубины горных работ, все большая часть горных пород является обводненной.

Приоритетное направление при ведении взрывных работ в горной промышленности в нашей стране и за рубежом имеет применение эмульсионных взрывчатых веществ для взрывания обводненных горных пород. Данные ВВ водоустойчивы, безопасны, позволяют в широких пределах варьировать их взрывчатые характеристики.

Однако, при сенсбилизации эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) газовыми порами, происходит увеличение плотности взрывчатого вещества с увеличением глубины скважины, вследствие уменьшения размеров газовых пор с возрастанием гидростатического давления. Повышение плотности ЭВВ снижает надежность их детонации и при определенных условиях приводит к прекращению детонации – к отказу, что влечет за собой большие материальные потери, а ликвидация отказа является одним из самых опасных процессов в технологии взрывных работ.

Например, при производстве взрывных работ по вскрыше на угольных разрезах Кузбасса, длина вертикальных взрывных скважин изменяется в широких диапазонах и достигает 50м, при таких условиях применение ЭВВ с химической газификацией приводит к повышению плотности ВВ выше критической и взрывание становится невозможным.

Для надежного обеспечения качественного дробления горных пород взрывом на практике рекомендуется применение ЭВВ, сенсбилизированных стеклянными или пластиковыми микросферами. При этом за счет обеспечения надежности детонации скважинного заряда практически при любых гидростатических давлениях, возникающих в скважине, но дороговизна этих сенсбилизаторов существенно сказывается на экономических показателях подготовки горных пород на карьерах.

Для одновременного снижения себестоимости взрывной подготовки горной массы и решением вышеуказанных технических и экономических проблем, присущих удлиненным зарядам с ЭВВ, возможно в качестве сенсбилизатора ЭВВ использовать гранулы вспененного полистирола (гранулы пенополистирола). Детонационные свойства данного ЭВВ слабо зависят от гидростатического давления в скважине, а изменение отношения смешиваемых объемов матричной эмульсии и гранул

пенополистирола позволяет изменять плотность данного ЭВВ, а следовательно и объемную энергию заряда, в существенно более широком диапазоне (от 300 до 1150 кг/м³), чем при химической газификации эмульсии. Кроме того, возможность формирования заряда с низкой плотностью заряжения и, соответственно, с низкой объемной энергией позволяют применять такие ВВ для механизированного заряжения контурных скважин на полное их сечение при постановке бортов карьеров в конечное положение (заоткоска), что является альтернативой гирляндным зарядам и ручному труду.

Таким образом, повышение эффективности взрывной подготовки горной массы на обводненных карьерах с высокими уступами и с различными физико-техническими характеристиками горных пород при заданной степени дробления горной массы, а также механизация процесса заряжения контурных скважин могут быть достигнуты путем придания необходимых характеристик ЭВВ, сенсibilизированному пенополистиролом.

Поэтому задача обоснования и разработки технологии взрывной подготовки горных пород с применением ЭВВ, сенсibilизированных гранулами пенополистирола, с заранее заданными взрывчатыми характеристиками является актуальной.

Объект исследования – взрывание обводненного массивов горных пород методом скважинных зарядов глубиной до 50 м на открытых горных работах эмульсионными взрывчатыми веществами, сенсibilизированными гранулами пенополистирола (Эмульпоры), и применение низкоплотных ЭВВ при постановке бортов карьеров в конечное положение (заоткоска).

Цель работы – состоит в разработке научного обоснования технологии взрывной подготовки обводненных высоких уступов (в том числе при глубине скважин до 50 м) на открытых горных работах методом скважинных зарядов с применением ЭВВ, сенсibilизированных гранулами пенополистирола при повышении безопасности комплекса буровзрывных работ за счет снижения вероятности отказов скважинных зарядов.

Основная идея работы состоит в использовании для взрывной подготовки горной массы на карьерах ЭВВ, сенсibilизированных гранулами пенополистирола.

Задачи исследования:

1. Разработать методику расчета взрывчатых характеристик ЭВВ, сенсibilизированных пенополистиролом в зависимости от параметров наполнителя и эмульсии;
2. Провести опытно-полигонные взрывы с инструментальным измерением скорости детонации ЭВВ, сенсibilизированных гранулами пенополистирола
3. Разработать технологию взрывной отбойки обводненных г.п. глубокими скважинами (до 50 м) с применением ЭВВ на основе пенополистирола, включая технологию изготовления Эмульпоров, устройства для их заряжения обводненных и сухих скважин, технологию создания механизированным

способом скважинных зарядов для заоткоски уступов, а также обоснование размеров сетки взрывных скважин на основе оценки относительной работоспособности ЭВВ с различным наполнителем.

4. Провести промышленные взрывы и дать экономическую оценку эффективности применения разработанной новой технологии взрывной отбойки обводненных горных пород глубокими скважинами, заряженными ЭВВ с наполнителем из пенополистирола, по сравнению с традиционными ВВ.

Методы исследования включают анализ современных представлений о путях повышения эффективности взрывных работ на открытых горных работах; лабораторные и теоретические исследования; методы математической статистики; опытно-полигонные испытания; промышленные эксперименты; технико-экономический анализ.

Защищаемые научные положения:

- предельная глубина заряжаемых скважин для ЭВВ с химической газогенерацией не превышает 15 м, а при использовании ЭВВ с пенополистиролом для взрывной отбойки обводненных массивов горных пород эта величина не зависит от глубины взрывааемых скважин до 50 м;

- детонационные параметры ЭВВ, сенсibilизированных гранулированным мультимпористым наполнителем (пенополистиролом), зависят от объемного содержания, размеров гранул наполнителя в ЭВВ и диаметра его мультимпор;

- применение эмульсионных взрывчатых веществ на основе пенополистирола для взрывной отбойки горных пород позволяет заряжать обводненные скважины глубиной до 50 м, регулировать объемную концентрацию энергии по длине скважины и, как следствие, степень дробления разрушаемого массива, а также возможность механизированного заряжания контурных скважин с обеспечением безопасности БВР при температуре среды от минус 40 до плюс 50⁰С.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются:

- сопоставимостью результатов, полученных экспериментальным и аналитическим путем (результаты аналитических исследований и опытно-полигонных испытаний имеют расхождение не более 5 %);

- положительными результатами опытно-промышленных взрывов на карьерах ОАО «Ураласбест»;

- положительным результатом внедрения ЭВВ, сенсibilизированных гранулами пенополистирола, при дроблении обводненных горных пород средней и ниже средней крепости на угольном разрезе «Междуреченский».

Научная новизна результатов исследований:

1. Получены зависимости изменения плотности ЭВВ с химической газогенерацией и с пенополистирольной сенсibilизацией (с учетом термоусадки) от высоты колонки заряда.

2. Установлены закономерности, позволяющие определять предельную глубину скважины (высоту заряда) или предельную начальную плотность ЭВВ в верхней части колонки заряда, при которых не допускается переуплотнение ЭВВ в нижней части заряда и, соответственно, не происходит затухание процесса детонации.

3. Установлены аналитические зависимости детонационных параметров ЭВВ от характеристик наполнителя, плотности заряжания и диаметра заряда, а также экспериментальные зависимости изменения скорости детонации скважинного заряда ЭВВ с химической газогенерацией и пенополистиролом от плотности, со сходимостью с аналитическими в пределах 2,5%.

4. Получена взаимосвязь относительной работоспособности Эмульпора от его плотности по действию ударной воздушной и сейсмической волнам.

5. Определены конкретные значения скоростей детонации, фактической работоспособности и переводной коэффициент для различных марок низкоплотного Эмульпора НП, что позволяет определить их оптимальную область применения для различных горно-геологических условий при постановке бортов карьера в предельное положение, а также выбирать рациональную технологию БВР: диаметр, сетка, тип ВВ, порода.

6. Доказана возможность применения механизированного заряжания контурных скважин на полное сечение низкоплотными ЭВВ, сенсibiliзирoванными гранулами пенополистирола, при заданных параметрах взрывания контурной отбойки, без применения гирляндных зарядов, заряжаемых вручную.

7. Доказано, что при взрывании обводненных скважин цельные заряды из Эмульпора без ухудшения качества дробления горной массы и проработки подошвы уступов являются экономически более эффективными по сравнению с цельными или комбинированными с ANFO зарядами из эмульпанов и эмулитов и позволяют сократить количество эмульсии для производства ЭВВ на 20 %.

Личный вклад автора состоит в постановке задач исследований и их решении, организации и участии в промышленных и лабораторных экспериментах, анализе полученных результатов экспериментов и выявлении зависимостей, оптимальных параметров взрывания от взрывчатых характеристик ЭВВ, сенсibiliзирoванных гранулами пенополистирола, а также в разработке технологии изготовления и механизированного применения данного вида ВВ.

Практическая значимость работы состоит:

- в разработке методики применения технических средств изготовления ЭВВ, сенсibiliзирoванных гранулами пенополистирола, с заранее заданными взрывчатыми характеристиками.

- в разработке технологии взрывной отбойки обводненных горных пород глубокими скважинами (до 50 м) с использованием ЭВВ на основе пенополистирола, включая технологии изготовления ЭВВ на основе пенополистирола, устройств для заряжания ЭВВ, технологию заряжания

глубоких обводненных скважин, уточненные параметры сетки взрывных скважин, технологию механизированного заряжания контурных скважин.

Реализация результатов работы.

Научные положения, рекомендации и методики, представленные в диссертации, использовались при проектировании и производстве взрывных работ методом скважинных зарядов на вскрышных работах на угольных разрезах Кузбасса и при опытно-промышленных взрывах на карьерах ОАО «Ураласбест».

Апробация результатов работы. Основные положения диссертации и её отдельные результаты докладывались на всероссийской научной конференции «Развитие ресурсосберегающих технологий во взрывном деле» (IV Уральский горнопромышленный форум, г. Екатеринбург – 2011г.), на Международном научном симпозиуме «Неделя горняка-2012» (г.Москва, 2012 г), на технических совещаниях по повышению эффективности взрывных работ (ОАО «Междуречье» и ООО «Олекминский рудник»), на XI Международной конференции «Новые идеи в науках о земле» РГГРУ (г. Москва, 2013).

Публикации. По теме диссертации получено 4 патента (в т.ч. на одно изобретение и три на полезные модели), зарегистрирован один товарный знак, а также опубликовано 10 статей, из них 6 в изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 158 страницах машинописного текста, включает 35 рисунков, 6 фотографий, 18 таблиц, список литературы из 97 наименований и 4 приложения.

Основное содержание работы.

Оптимизацией параметров взрывания путем задания ВВ необходимых характеристик, разработкой технологии и технических средств для приготовления и заряжания скважин посвящены работы российских (советских) ученых Н.В. Мельникова, Л.Н. Марченко, Л.И. Барона, Л.В. Дубнова, К.К. Шведова, Г.П. Демидюка, С.Д. Викторова, М.Ф. Друкованного, С.В. Иляхина, В.Н. Комира, Э.И. Ефремова, Б.Н. Кутузова, В.К. Рубцова, В.И. Борщ-Компанейца, А.А. Дерибаса, А.Н. Ханукаева, Б.Н. Кукиба и др.

Значительный вклад в теорию и практику применения ВВ на горных работах внесли зарубежные исследователи М.А. Кук, К. Йохансон, Дж.П. Густафсон, Р. Браун, Э. Влодарчик, А. Маранда, П. Кохличек, В. Ксюганг и другие ученые.

Отбойка горных пород в настоящее время производится с применением ВВ, как заводского изготовления, так и ВВ, изготавливаемых на местах применения в условиях горнодобывающего предприятия.

Однако, несмотря на широкий ассортимент ВВ, остаются технические и экономические задачи при производстве взрывных работ, для решения

которых требуются новые научные и технологические решения при разработке необходимых рецептур ВВ.

Глава 1.

В настоящее время наибольшее распространение при производстве массовой отбойки обводненных горных пород на карьерах получили эмульсионные взрывчатые вещества (ЭВВ) и (или) смеси «ЭВВ + аммиачная селитра или ANFO», сенсibilизированные газовыми порами.

Однако при данном способе сенсibilизации с увеличением глубины скважины происходит увеличение плотности взрывчатого вещества вследствие уменьшения размеров газовых пор с возрастанием гидростатического давления. Данное явление проявляет себя двояким образом:

1 - при сильном уплотнении ЭВВ (при околокритической и сверхкритической плотности) происходит снижение его чувствительности и затрудняется протекание детонации вплоть до полного затухания, создается очень опасное при взрывных работах явление – отказ, ликвидация которого требует больших технических и материальных затрат, а также сложных мероприятий по обеспечению безопасности людей.

2 - при детонации более плотного ВВ (но ниже критической плотности) увеличивается выделение энергии в нижней части скважины – что ведет к ненужному перерасходу ВВ. При ведении горных работ на угольных разрезах взрывные скважины бурятся, как правило, почти до контакта с полезным ископаемым (оставляется подушка в 6-8 диаметров). В этих условиях создание высокой плотности объемной энергии ВВ в нижней части скважины, с точки зрения разрушения горных пород, бессмысленно, а с экономической - неоправданно значительным расходом ЭВВ и дополнительными затратами при обогащении (за счет повышения коэффициента разубоживания).

Следовательно, в рассматриваемых условиях интерес представляют ЭВВ, позволяющие создать равномерную объемную концентрацию энергии по длине скважинного заряда и, как следствие, избежать переизмельчения вскрышной породы в нижней части скважины и снизить коэффициент разубоживания при оптимальной степени дробления горной массы.

Из имеющихся доступных пористых органических материалов высокое значение закрытой пористости имеют только гранулы вспененного полистирола (пенополистирола) – где более 98 % объема гранулы составляют газовые включения (поры).

Таким образом, анализ предлагаемого в настоящее время ассортимента ВВ для отбойки обводненных горных пород и технологий применения традиционных ВВ показывает, что для крупного горного предприятия организационно, экологически и экономически выгодно применять эмульсионные взрывчатые вещества, изготавливаемые на местах применения. При этом, при отбойке легко и средне взрывааемых пород, в том числе с применением глубоких скважин (до 50метров), необходимо при

изготовлении ЭВВ использовать дешевый, эффективный и доступный пористый материал, который не теряет своих сенсibiliзирующих функций при возникающем гидростатическом давлении и при применении которого не происходит существенного увеличения плотности ЭВВ.

Сравнительный анализ показывает, что такого рода сенсibiliзаторами могут быть гранулы вспененного полистирола. Однако в научной литературе отсутствуют сведения об оптимальных составах смесей «эмульсия + гранулы пенополистирола» (эмульпоров) и отсутствует испытанная в производственных условиях технология безопасного получения и заряжания эмульпоров, особенно для обводненных скважин с проточной водой.

Учитывая, что плотность ЭВВ, сенсibiliзированных пенополистиролом, можно изменять в таком широком диапазоне, что появляется возможность применения его низкоплотных модификаций для механизированного заряжания контурных скважин на полное сечение.

Т. о., при изучении эффективного использования Эмульпоров для отбойки горных пород и шадящего взрывания возникают следующие задачи:

- разработать методику расчета и управления взрывчатыми характеристиками ЭВВ, сенсibiliзированных пенополистиролом, в зависимости от требуемых параметров и условий взрывания (путем регулирования объема смешиваемых гранул пенополистирола; крупности (размера) гранул пенополистирола; размеров пор в гранулах пенополистирола; объема прихваченного при смешении воздуха; размеров глобул эмульсии;
- разработать технологию взрывной отбойки обводненных горных пород глубокими скважинами (до 50 м) с применением Эмульпора, включая технологию изготовления Эмульпоров, устройства для заряжания им обводненных и сухих скважин, технологию создания механизированным способом скважинных зарядов для заоткоски уступов;
- обосновать размеры сетки взрывных скважин на основе оценки относительной работоспособности ЭВВ с различным наполнителями;
- экспериментально проверить на производстве эффективность применения разработанной новой технологии взрывной отбойки обводненных горных пород средней и ниже средней крепости глубокими скважинами с ЭВВ, сенсibiliзированных гранулами пенополистирола и дать экономическую оценку предложенной технологии.

В соответствии с поставленными задачами, **во второй главе** представлена теоретическая оценка возможности использования ЭВВ, сенсibiliзированных гранулами пенополистирола, для отбойки горных пород глубокими скважинами (до 50 м).

Были проведены теоретические исследования по установлению закономерностей изменения плотности ЭВВ с глубиной скважины, учитывающие изменение объема газовых пор при увеличении гидростатического давления и изменении температуры ЭВВ в процессе зарядки и нахождения во взрывной скважине. Необходимость данных

исследований обусловлена сильной зависимостью детонационных характеристик ЭВВ от его плотности. В работе показано, что зависимость плотности ВВ $\rho_{\text{вв}}^o$ от глубины скважины h задается в виде неявной функции:

$$h = \frac{P_* b}{g} \left(\ln \left(\frac{\rho_{\text{вв}}^o \rho_{\text{вв}}^o - a^{-1}}{\rho_{\text{вв}}^o \rho_{\text{вв}}^o - a^{-1}} \right) + \frac{1}{a \rho_{\text{вв}}^o - 1} - \frac{1}{a \rho_{\text{вв}}^o - 1} \right), \quad (1)$$

где P_* - начальное внешнее давление на верхнюю поверхность скважинного заряда ВВ; g - ускорение свободного падения; a , b параметры, определяемые из уравнений (2);

$$a = \frac{\alpha}{\rho_{\text{эм}}^*} (1 + \beta_{\text{эм}} \Delta T) + \frac{1 - \alpha}{\rho_{\text{зр}}^*} (1 + \vartheta); b = \frac{T}{T_*} \left(\frac{1}{\rho_{\text{вв}}^o} - \frac{\alpha}{\rho_{\text{эм}}^*} - \frac{1 - \alpha}{\rho_{\text{зр}}^*} \right), \quad (2)$$

где α - массовая доля матричной эмульсии в составе ВВ; $\rho_{\text{эм}}^*$, $\rho_{\text{зр}}^*$, $\rho_{\text{вв}}^o$ - плотности матричной эмульсии, гранул твердого вещества и ВВ при давлении P_* и температуре T_* (температура, при которой осуществляются контрольные замеры качества ЭВВ), соответственно. T - конечная температура ЭВВ; $\beta_{\text{эм}}$ - коэффициент объемного расширения матричной эмульсии; $\Delta T = T - T_*$ - разница температур. Величина ϑ (относительное изменение удельного объема) равна:

$$\text{- для эмульпоров: } \vartheta = \beta_{\text{н.н}} \Delta T \quad (3)$$

где $\beta_{\text{н.н}}$ - коэффициент объемного расширения полистирола;

$$\text{- для эмуланов (при } T_* < 305,3^\circ K \text{): } \vartheta = \beta_{\text{ac}} \Delta T \quad (4)$$

где β_{ac} - коэффициент объемного расширения аммиачной селитры при β -ромбической модификации кристаллической структуры, которая наблюдается при температурах $256,2^\circ K \leq T \leq 305,3^\circ K$);

При $T_* > 305,3^\circ K$ и $T < 305,3^\circ K$ Величина ϑ определится из выражения:

$$\vartheta = \beta_{\text{ac}} (T - 305,3) + \beta_{\text{ac}}^* (305,3 - T_*) + \delta, \quad (5)$$

где β_{ac}^* - коэффициент объемного расширения аммиачной селитры при α -ромбической модификации кристаллической структуры, которая наблюдается при температурах $305,3^\circ K \leq T \leq 357,2^\circ K$; δ - приращение объема гранул аммиачной селитры при переходе температуры через $T_{\text{крст.}} = 305,3^\circ K$ в долях единиц; при $T > 305,3^\circ K$ - $\vartheta = \beta_{\text{ac}}^* \Delta T$. Плотность ВВ $\rho_{\text{вв}}^o$ определяется

$$\text{из выражения: } \rho_{\text{вв}}^o = \frac{1}{\frac{\alpha}{\rho_{\text{эм}}^*} + \frac{1 - \alpha}{\rho_{\text{зр}}^*} + \frac{P_a}{P_*} \left(\frac{1}{\rho_{\text{вв}}^{oo}} - \frac{\alpha}{\rho_{\text{эм}}^*} - \frac{1 - \alpha}{\rho_{\text{зр}}^*} \right)}, \quad (6)$$

где P_a - атмосферное давление; $\rho_{\text{вв}}^{oo}$ - плотность ЭВВ при контрольном измерении при температуре T_* и атмосферном давлении P_a .

На рис. 1 представлены результаты расчетов изменения плотности по длине скважинных зарядов для необводненных (рис.1а) и обводненных скважин (рис.1б). При выполнении расчетов для построения указанных графиков принималось, что плотность матричной эмульсии и

кристаллическая плотность аммиачной селитры при нормальных условиях равны $1,33\text{г/см}^3$ (эмульсия на монорастворе аммиачной селитры) и $1,725\text{г/см}^3$, соответственно. Другие параметры принимались равными: $\delta \cong 0,024$; $\beta_{эм} \approx 0,002^1/\text{град}$; $\beta_{ac} \approx 0,001^1/\text{град}$; $\beta_{ac}^* \approx 0,001^1/\text{град}$; $\beta_{n,n} \approx 0,0002^1/\text{град}$; $D_{скваж.} = 200\text{мм}$; $T_* = 303^\circ\text{K}$; $T = 283^\circ\text{K}$.

Пористость гранул аммиачной селитры принимали равной $0,15$, что позволяло считать плотность ее гранул при нормальных условиях равной $1,466\text{г/см}^3$. Рассматривались взрывчатые составы при $\rho_{\text{вв}}^{00} \cong 1,0\text{г/см}^3$. При расчетах полагалось: для обводненных скважин $P_* = 0,17\text{МПа}$ (7-метровый столб воды над верхним сечением скважинного заряда), а для сухих скважин $P_* = P_a = 0,1\text{МПа}$. Пористость эмульпора, обусловленная воздухом, подхваченным при смешении эмульсии с гранулами вспененного полистирола, считалась равной $0,05$.

Из анализа представленных графиков на вышеуказанных рисунках следует, что плотность Эмульпоров, при взрывной отбойки обводненных массивов горных пород, при высоте уступов от 10 до 50 м слабо зависят от глубины скважины, а определяется преимущественно начальной плотностью и условиями заряжания (сухие, обводненные скважины).

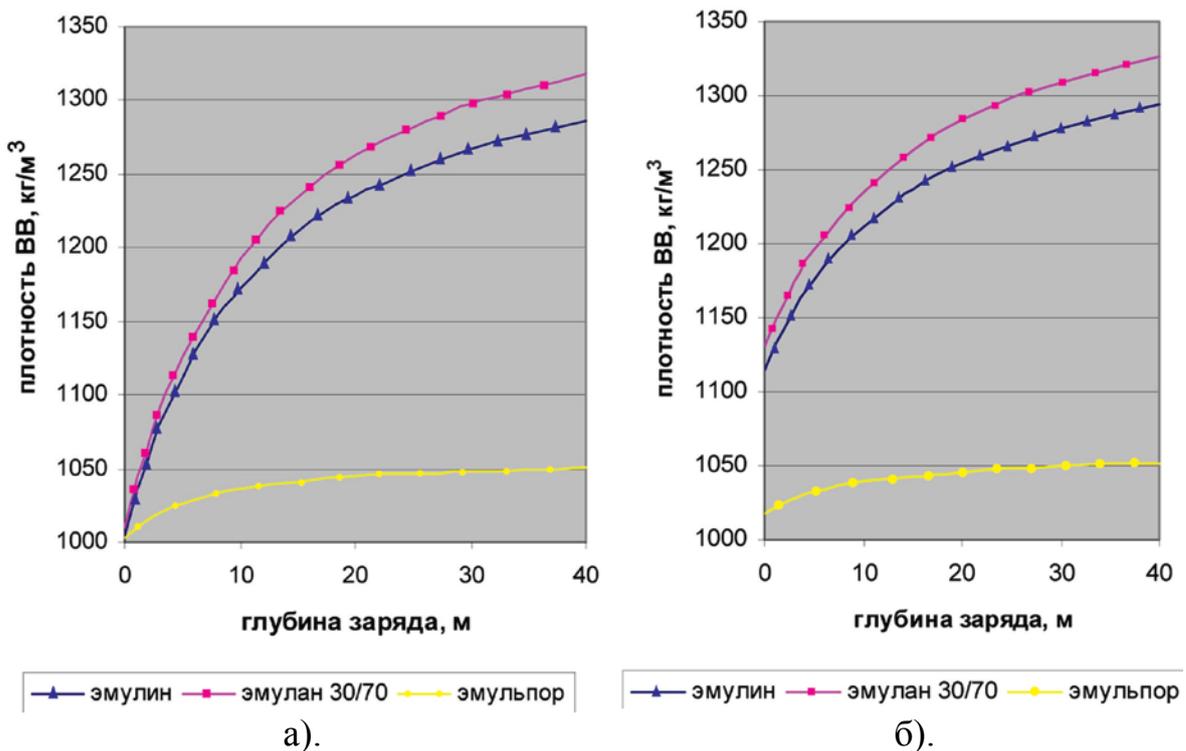


Рис.1. Изменения плотности по длине скважинных зарядов для необводненных (а) и обводненных скважин (б).

Инициирование длинного заряда, как эмулинов (эмуланов), так и эмульпоров, осуществляется одновременных подрывом минимум двух промежуточных детонаторов, расположенных в разных местах заряда. Поэтому осуществить инструментальные замеры скорости детонации вдоль всей скважины не представляется возможным. Для построения эпюры

скорости детонации по длине заряда были проведены замеры скоростей детонации ЭВВ, сенсibilизированных пузырьками газа и гранулами пенополистирола, в зависимости от его плотности. Знание плотности ЭВВ в различных сечениях скважины и знание скорости детонации в зависимости от плотности позволяют построить эпюру скорости детонации по высоте заряда (или) в скважине. На рис.2 приведены расчетные эпюры скорости детонации для необводненной скважины эмулина и эмульпора, имеющих плотность при атмосферном давлении – 1г/см^3 .

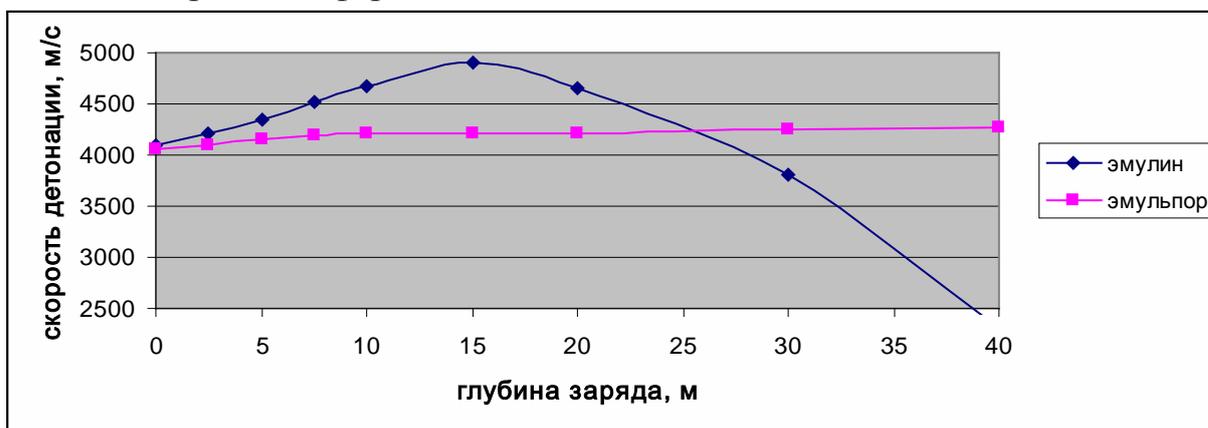


Рис.2. Зависимость скорости детонации для эмулина и эмульпора (необводненная скважина).

Из анализа графиков на рис.1 и 2 следует, что в отличие от ЭВВ с химической газогенерацией плотность эмульпора от глубины скважины (до 50м) является практически неизменной и скорость детонации эмульпора в рамках рассмотренных колебаний плотности практически не меняется.

Таким образом, **доказано первое защищаемое научное положение.**

Применение для сенсibilизации гранул пенополистирола приводит к определенным требованиям и к химическому составу эмульсии. Известно, что полистирол химически инертен по отношению к воде, растворам солей, кислот и щелочей. Следовательно, полистирол химически инертен по отношению к окислительной фазе эмульсионных ВВ. Однако полистирол растворим в сложных эфирах, ацетоне и ароматических углеводородах, а под воздействием бензола полистирол набухает и теряет упругие свойства. Растворимость данного вещества в ароматических углеводородах ограничивает химический состав топливной фазы, которая может быть использована при создании Эмульпоров. Действительно, при производстве указанных ЭВВ целесообразно отказаться от применения в топливной фазе дизельного топлива. Причина состоит в том, что дизтопливо представляет сложную смесь парафиновых (10-40 % массы), нафтеновых (20-60 % массы) и ароматических (14-30 % массы) углеводородов. При создании Эмульпоров в топливной фазе целесообразно использовать дешевые сорта индустриального масла (типа И-20, И-40 и т.п.), являющиеся смесью высокомолекулярных углеводородов. Такие масла являются продуктами дистилляции и практически не содержат ароматических углеводородов и,

поэтому, практически не влияют на устойчивость и прочность гранул пенополистирола.

При отбойке горных пород глубокими скважинами (до 50 м) дополнительное давление в нижнем сечении 50-метрового вертикального заряда плотностью 1000-1150 кг/м³, вызываемое только весом колонки заряда ЭВВ, составляет 2800-3400 кг/см². Оценочные расчеты показали, что минимальная плотность гранул пенополистирола для создания Эмульпора, выдерживающих данное всестороннее давление равна 50 кг/м³. При этом необходимо, чтобы температура гранулы не превосходила +35⁰...+40⁰С, когда полистирол сохраняет упругие и прочностные параметры, соответствующие нормальным условиям. При более высоких температурах упругие и прочностные характеристики полистирола снижаются, и получение Эмульпора практически невозможно вследствие термоусадки гранул пенополистирола. При термоусадке указанных гранул плотность Эмульпора увеличивается и он теряет детонационные свойства.

Для предотвращения разрушения законтурного массива горных пород за счет трещинообразования при взрыве последнего ряда скважин, необходимо осуществлять предварительное щелеобразование методом контурного взрывания, либо осуществлять заоткоску погашаемых уступов. В сухих контурных скважинах для этих целей обычно применяются гирляндные заряды, выполненные из патронов аммонита 6ЖВ (1,1г/см³).

Теоретические оценки показали, что получение устойчиво детонирующих Эмульпоров с плотностями в интервале 300-500кг/м³ дает возможность применения последних при зарядании контурных скважин (или предконтурных) на полное сечение вместо, указанных выше, гирляндных зарядов. Линейная плотность энергии взрыва заряда Эмульпора (при плотности ВВ – 300-500кг/м³) близка к линейной плотности рекомендованного гирляндного заряда из патронов аммонита.

В третьей главе приведены результаты исследования структуры Эмульпоров, методика расчета детонационных параметров Эмульпора и ее опытно-полигонная проверка.

Микроскопические исследования структуры эмульсии осуществлялись с помощью многофункционального исследовательского оптического микроскопа Olympus VX-51 фирмы «Olympus». Прибор имел следующие характеристики: предельное увеличение - 600х, разрешающая способность – 0,5 мкм. Микроскоп был оборудован автоматизированным предметным столиком PriorScan, цифровой видеокамерой GlobalMicro-i1300, а также программно-аппаратным комплексом для регистрации и обработки изображений SIAMSPhotolab. Точность измерений геометрических размеров составляет 0,5 % отн..

При выполнении микроскопического исследования эмульсии получали не менее 4 фотографий характерных различных участков. В результате автоматической обработки цифровых фотографий программно-аппаратным

комплексом для регистрации и обработки изображений SIAMSPHOTOlab определялся средний диаметр частиц рассматриваемых эмульсий.

Дополнительно для эмульсии, изготавливаемой на разрезе «Междуречье» были выполнены исследования зависимости среднего размера частицы эмульсии от химического состава окислительной фазы эмульсии и количества эмульгатора. Обработка полученных в ходе микроскопических исследований данных методом регрессионного анализа показала, что статистически значимое влияние на размер частицы эмульсии \bar{D} оказывает только содержание эмульгатора $W_{\text{ПАВ}}$ (%). При $0,8 < W_{\text{ПАВ}} < 1,5$: $\bar{D} = 4,68 - 1,9 W_{\text{ПАВ}}$. Микроскопическое исследование структуры гранул пенополистирола при их насыпной плотности $0,05 \text{ г/см}^3$ и среднем диаметре гранулы – 3 мм показало, что средний диаметр пор гранул равен 163 мкм.

Теоретические исследования детонационного процесса в эмульпорах были основаны на известных представлениях, что возникновение детонации обусловлено совместным действием сил трения и адиабатического тепла сжатого газа, заполняющего поры. Согласно исследованиям Кутузова Б.Н. и Горинова С.А., скорость детонации D и давление в т. Чепмена-Жуге P_* определяются выражениями (7) и (8), соответственно:

$$D^2 = 2(k+1)Q_v \left[\bar{C} (1 - (k+1)\alpha \rho_0^{z_{\text{аз}}}/k) (1 - \sum_i \beta_i) \right]^{-1}, \quad (7)$$

$$P_* = \rho_0^{z_{\text{аз}}} D^2 / (k+1), \quad (8)$$

где $\rho_0^{z_{\text{аз}}} = \rho_0 (1 - \sum_i \beta_i) \left[1 - \rho_0 \sum_i (\beta_i / \rho_i) \right]^{-1}$.

Здесь α - коэффциент политропы; Q_v - теплота взрыва; k - коэффциент политропы; β_i - массовая доля i -твердого вещества в продуктах взрыва; ρ_i - плотность i -твердого вещества в продуктах взрыва; \bar{C} - отношение средней мольной теплоемкости продуктов детонации при температуре взрыва к универсальной газовой постоянной; ρ_0 - плотность ВВ в момент начала взрывчатого разложения эмульсии.

Известно, что в случае газовых пор $\rho_0 = z\rho_{00} + (1-z)\rho_{\text{эи}}$, где ρ_{00} - начальная плотность ВВ; $\rho_{\text{эи}}$ - плотность эмульсии; z - отношение пористости ВВ в момент начала взрывного разложения к начальной пористости. Величина z находится из условия воспламенения эмульсии при ее втекании в пору. В случае сенсбилизации ЭВВ гранулами пенополистирола необходимо учитывать, что сенсбилизующая пора является конгломератом отдельных пор (мультипора). На основании проведенных автором теоретических исследований установлено, что при плотности эмульпора больше $0,7 \text{ г/см}^3$ начало детонационного процесса (соответственно величина ρ_0) определяется схлопыванием внешних пор гранулы пенополистирола (объем внутренних пор изменится незначительно). В этом случае величина относительного изменения пористости ВВ не может быть определена по формулам для монопор, предполагающим их одинаковое деформирование. Наши расчеты

показали, что в данном случае величина ρ_0 определится из следующих уравнений:

$$\rho_0 = \bar{z}_{эфф} (\rho_{00} + (1-z)\chi_{возд}\rho_{эм}) + (1 - \bar{z}_{эфф})\rho_{эм}, \text{ где} \quad (9)$$

$$\bar{z}_{эфф} \approx 1 - (1-z) \frac{R_{пор}}{R_{сп}} \ln\left(\frac{R_{сп}}{R_{пор}}\right); \quad \chi_{возд} = 1 - \frac{\rho_{00}}{\rho_{эм}} - \frac{\xi_0}{\xi_0 + k_{унак}}$$

Здесь $\chi_{возд}$ - пористость ЭВВ, обусловленную воздухом, подхваченным при смешении гранул пенополистирола с эмульсией; $R_{сп}$, $R_{пор}$ - радиус гранулы и поры гранулы пенополистирола, соответственно; ξ_0 - отношение насыпного объема смешиваемых гранул пенополистирола к объему эмульсии.

На основании уравнений (7)-(9) можно определить все детонационные параметры ЭВВ, сенсibilизированного гранулами пенополистирола. Решение возможно только численными методами путем последовательных итераций по k и z .

Для проверки предлагаемой методики расчета детонационных параметров эмульпоров были проведены опытно-полигонные испытания, которые включали в себя подрыв цилиндрических зарядов. Взрывали заряды в картонных гильзах, внутри которых размещался проводник-датчик для замера скорости детонации. Длина гильзы - не менее 1000 мм, длина заряжаемой части - не менее 900мм. Применяемая аппаратура «VODMateInstantel» непрерывно измеряла величину сопротивления электрической цепи проводника-датчика и, благодаря программному обеспечению, сразу распечатывала полученные результаты в виде диаграммы «длина заряда - время» с автоматическим вычислением тангенса угла наклона полученной линии, физический смысл которого и есть скорость детонации.

Опытно-полигонные испытания проводились с эмульпорами, для приготовления которых использовались разные эмульсии и различные гранулы пенополистирола, на горных предприятиях г. Ковдор, г. Асбеста и г. Междуреченска.

Всего было проведено 4 серии опытно-полигонных взрывов, анализ которых показал, что предлагаемая методика расчета детонационных параметров эмульпоров дает согласие с экспериментальными данными в пределах точности измерений при плотности эмульпора более 0,75г/см³.

Для примера приведем результаты полигонных испытаний в ОАО «Ураласбест». Изготавливалась эмульсия следующего состава: NH₄NO₃- 75,0 %, H₂O - 18 %, эмульгатор - 1,0%, индустриальное масло - 6,0 %. Изготовление производилось на заводе по выпуску эмульсионных ВВ в г.Асбест (предприятие «Промтехвзрыв» ОАО «Ураласбест»). Плотность эмульсии при данном химическом составе, согласно лабораторным данным, - 1,328г/см³. Средний размер частиц эмульсии определялся на основе микроскопических исследований и равен $\Delta \approx 5$ мкм. Для сенсibilизации использовались гранулы пенополистирола насыпной плотностью 0,12г/см³ и

средним диаметром 3,0мм. Размер пор гранул определялся экстраполяцией по плотности расчетным путем - $R_{пор} \approx 60$ мкм.

Готовили смеси указанной эмульсии с гранулами пенополистирола (эмульпоры «НП»): «НП-40» (4 об. ч.эмульсии +3 об. ч. пенополистирол), плотность - $0,841$ г/см³; «НП-50» (1 эм +1 ппс), плотность - $0,731$ г/см³; «НП-60» (3 эм + 4 ппс), плотность - $0,718$ г/см³. Каждая марка изготовленного эмульпора «НП» заряжалась в картонные гильзы диаметрами 120, 140 и 160мм, длиной 85см. Всего изготовлено 9 удлиненных зарядов.

Во всех случаях, в качестве промежуточного детонатора применялась шашка-детонатор РУВ-850, обмотанная 1м. ДШЭ. Инициирование электродетонатором ЭДКЗПМ. Было взорвано 9 гильз.

В таблице 1 представлено сравнение экспериментальных и расчетных данных. При расчетах принималось, что $\Delta=5$ мкм, $R_{cp}=1,5$ мм, $R_{пор}=60$ мкм, а также, что $\chi_{возд}=0,139$, $\xi_0=1,50$ при $\rho_{ЭВВ} = 0,718$ г/см³; $\chi_{возд}=0,20$, $\xi_0=1,00$ при $\rho_{ЭВВ} = 0,731$ г/см³; $\chi_{возд}=0,135$, $\xi_0=0,75$ при $\rho_{ЭВВ}=0,841$ г/см³. Уравнение химической реакции при детонации записывали на основании принципа Бринкли-Вильсона. Скорость детонации в зависимости от диаметра заряда d рассчитывалась по формуле Бауэра-Кука $D \approx D_*(d/d_{lim})^{0,6}$, где D_* - скорость идеальной детонации (определялась по предлагаемой методике); d_{lim} - предельный диаметр открытого заряда. Величина d_{lim} определялась дополнительно и составляла 160-180мм.

Таблица 1

Диаметр заряда, мм	Скорость детонации, м/с					
	Плотность ВВ, 0,718 г/см ³		Плотность ВВ, 0,731 г/см ³		Плотность ВВ, 0,841 г/см ³	
	Расчет	экспер.	Расчет	экспер.	расчет	экспер.
160	3102	3453	3375	-	3496	3571
140	3102	3233	3121	3050	3229	3158
120	2829	2924	2845	3021	2944	2928

Хорошее согласие между опытно-полигонными испытаниями и расчетными данными **доказывает второе защищаемое положение**, и позволяет использовать разработанную методику расчета детонационных параметров эмульпоров для обоснования размеров сетки взрывных скважин при опытно-промышленных взрывах.

Результаты промышленных испытаний изложены в **четвертой** главе.

Для обоснования размеров сетки взрывных скважин при опытно-промышленных взрывах были осуществлены:

- расчеты коэффициента относительной работоспособности эмульпоров (к аммониту 6ЖВ плотностью $1,0$ г/см³) на базе разработанной методики определения детонационных параметров Эмульпоров при различных

объемах смешения эмульсии и гранул пенополистирола; размерах частиц эмульсии; воздушной пористости; плотности гранул пенополистирола;

- экспериментальная оценка коэффициента относительной работоспособности ВВ методов замера интенсивности ударных воздушных и сейсмических волн при взрывании на полигоне зарядов равных объемов.

В качестве расчетных показателей относительной работоспособности рассматривались критерии Кукиба Б.Н., Вайнштейна Б.И., Лангефорса У. Выполненные теоретические исследования показали, что при размерах частиц эмульсии 3-4 мкм и использовании гранул пенополистирола с насыпной плотностью 50 кг/м^3 в смесях с $\xi_0 = 0,2-0,43$ (15-30% объемных частей гранул пенополистирола + 85-70% объемных частей эмульсии) удастся получить ВВ с работоспособностью близкой к АНФОна пористой селитре. При этом воздушная пористость указанного ЭВВ не должна превышать 10%. Результаты расчетов согласуются с результатами замера интенсивности ударных воздушных и сейсмических волн при взрывании на полигоне зарядов равных объемов.

Исследования по обоснованию технологии производства эмульпоров показали, что однородное смешивание компонентов (изготовление эмульпора) в широком диапазоне соотношения смешиваемых объемов компонентов (эмульсия - 95–30 об.%; гранулы пенополистирола - 5–70 об.%; с воздушной пористостью до 10%) достигается в смесительно-зарядных машинах непосредственно на месте зарядания. При этом можно использовать гранулы пенополистирола размером (1 – 5) мм и насыпной плотностью $30-150 \text{ кг/м}^3$. Эмульсия должна иметь температуру от -30 до $+40$ °С и динамическую вязкость от 30 до 100 Па*с, измеренной на вискозиметре Брукфильда насадкой RV6 при оборотах шпинделя 20 мин^{-1} . Последнее объясняется тем, что эмульпор на эмульсии с вязкостью менее 30 Па*с физически нестабилен (наблюдается сегрегация), а при вязкости эмульсии более 100 Па*с при транспортировке эмульпора по трубопроводам и шлангам СЗМ возникает чрезмерно большое гидравлическое сопротивление.

В ходе разработки технологии зарядания ЭВВ, во избежание потерь ВВ в скважинах из-за растекания по трещинам (приводит к некачественному или неуправляемому взрыву), разработан простой, особым образом изготовленный тканевый рукав и устройство для его размещения в скважине (принцип действия которых защищены патентами RU92527U1 и RU96945U1). С целью оценки эффективности применения эмульпоров по сравнению с эмуланом ПВВ-А70 и эмулитами при отбойке легко и средневзрываемых пород на разрезе “Муждуречье” были проведены опытно-промышленные взрывы.

Бурение взрывных скважин осуществлялось по сетке, принятой для АНФО. Такая же сетка скважин применяется и для эмулана ПВВ-А70. Эмулан ПВВ-А70 – гранэмит, представляющий смесь 70% масс. эмульсии и 30% масс. аммиачной селитры. Сенсибилизация эмулана осуществляется пузырьками

газа, возникающего при взаимодействии нитрита натрия с аммиачной селитрой.

Взрываемые блоки делились на две части. Одна часть блоков взрывалась эмульпорами, а вторая посредством эмулана ПВВ-А70. Длина экспериментальных участков составляла 100-180 метров. Обводненность скважин изменялась в зависимости от их удаления от границы уступа. Первые ряды, как правило, мало обводнены, дальние ряды – высоко обводнены. Заряжание скважин осуществлялось смесительно-зарядными машинами по предложенной технологии. Величина недозаряда составляла 5-6 метров. Взрывание осуществлялось без применения забойки. В качестве промежуточных детонаторов использовались 800-граммовые патроны ЭВВ, сенсублизованного стеклянными микросферами (патронит). Инициирование осуществлялось неэлектрической системой СИНВ.

Поверхностная сеть монтировалась либо ДШ (с пиротехническими реле) по диагональной схеме 42x67 мс, либо с аналогичными замедлениями поверхностными СИНВ-П.

Критериями оценки результатов опытно-промышленных взрывов были качество дробления взорванной горной массы, проработка подошвы уступов, ширина основного развала. При этом качество дробления оценивалось по производительности экскаваторных работ и по вместимости отбитых пород в кузова транспортных средств.

Основные показатели и результаты проведенных промышленных взрывов приведены в табл. 2. Анализ данных в таблице 2 показывает, что производительность экскавационных работ при использовании эмульпора вместо эмулана ПВВ-А70 - не изменилась.

Таблица 2.

Тип экскаватора	№ участка	Длина скваж., м	Расход ВВ, кг/м ³		Кол-во погружа /м, шт.	Кол-во ковшей, шт.	Сред. длит. цикла экскавации, сек	Объем отбитой породы, тыс.куб.м
			Эмулан ПВВ-А70, Эмулин	Эмульпор				
ЭКГ 6,3УС	УК Южная	4-11	1,27	-	52	524	35,2	18,3
			-	0,91	48	481	35,5	17,3
РН 2800	2	15-22	0,97	-	38	114	31,7	48,8
			-	0,68	48	144	30,8	40,1
ЭШ 20/90	4	38-40	1,17	-	-	370	63,0	162,4
			-	0,96	-	343	63,6	148,9

При этом необходимо отметить следующую связку «экскаватор – транспорт». Экскаватор ЭКГ-6,3УС работал совместно с автомобилями БЕЛАЗ 75131-10 (75310) объемом кузова 52,5(47,8) куб.м. Экскаватор РН 2800 – с автомобилями БЕЛАЗ 75306 объемом кузова 81,4 куб.м. Экскаватор ЭШ 20/90 осуществлял уборку породы по бестранспортной схеме.

Т. о., опытно-промышленные взрывы доказали, что эмульпоры, при отбойке легко и средневзрывааемых пород, имеют разрушительные свойства аналогичные эмулану ПВВ-А70, что подтверждает возможность их практического использования (в том числе при отбойке сдвоенных уступов – участок 4).

Предложенная технология изготовления ЭВВ и заряжания ими обводненных глубоких скважин рыхления была внедрена на разрезе “Междуречье” при производстве массовых взрывов.

На основании результатов опытных взрывов при применении эмульпоров для отбойки легко и средневзрывааемых пород рекомендованы параметры сетки скважин, которые соответствуют ANFO(эмулану).

Выполненный технико-экономический анализ сравнения технологий с использованием эмульпоров без осушения скважин и технологий с осушением скважин, а также применением комбинированных зарядов «эмулан (эмулин)+ANFO», включая заряды с воздушным промежутком, показал, что:

- при отбойке необводненных и (или) слабо обводненных (при обязательном осушении взрывных скважин в случае создания воздушных промежутков) горных пород с коэффициентом крепости до 10 экономически целесообразно применять заряды с воздушным промежутком из эмуланов, эмулитов или ANFO, чем цельные заряды из эмульпора;

- при отбойке необводненных и (или) слабообводненных (при обязательном осушении взрывных скважин в случае создания воздушных промежутков) горных пород с коэффициентом крепости свыше 10 заряды с воздушным промежутком из эмуланов, эмулитов, ANFO имеют экономическую эффективность близкую к цельным зарядам из эмульпора;

- при отбойке обводненных (создание эффективных воздушных промежутков невозможно) легко и средневзрывааемых горных пород цельные заряды из эмульпора являются экономически более эффективными по сравнению с цельными или комбинированными с ANFO зарядами из эмуланов и эмулитов.

Внедрение ЭВВ, сенсibilизированных гранулами пенополистирола, на разрезе “Междуречье” позволило без ухудшения качества дробления горной массы и проработки подошвы уступов сократить количество эмульсии для производства ЭВВ на 20 % по сравнению с эмуланами ПВВ-А70 и эмулинами.

Экономический эффект составляет 5 руб на 1 м³ отбитой горной массы. В период с 2006-2011 гг. отбито более 2 млн. м³ вмещающих горных пород с применением эмульпоров.

Опытно-промышленная проверка возможности осуществления контурного взрывания при помощи низкоплотного Эмульпора, заряженного механизированным способом на всю площадь сечения скважины, была осуществлена ОАО «Ураласбест» на опытно-промышленном взрыве блока 141/15-центр. В ходе эксперимента было взорвано 98 сухих скважин диаметром 115мм. Длина скважин – 16,5м; длина заряда – 12,5м. Плотность заряжения – 0,485 г/см³. Иницирование мгновенное. Эмульпор «НП-70» изготавливался смесительно-зарядной машиной ТСЗМ-11 в процессе заряжения скважин контурного ряда на полное их сечение. Тем самым, была доказана возможность применения низкоплотного Эмульпора при взрывании контурных скважин при заряжении последних на полное сечение с применением смесительно-зарядных машин.

Качество «заоткоски» при взрывании низкоплотным Эмульпором удовлетворительное, сравнимое с качеством взрыва при заоткоске гирляндными зарядами.

Положительные результаты опытно-промышленных взрывов **доказывают третье защищаемое научное положение.**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных исследований дается решение научно-практической задачи – обоснование и применение технологии взрывания обводненных горных пород средней и ниже средней крепости глубокими скважинами, а также применение технологии механизированного заряжения контурных скважин на полное сечение при использовании ЭВВ, сенсibilизированных гранулами пенополистирола, позволяющее значительно повысить эффективность и безопасность добычи полезных ископаемых открытым способом с применением БВР.

Основные научные и практические результаты исследований:

1. Плотность Эмульпоров при взрывной отбойки обводненных массивов горных пород при высоте уступов от 10 до 50 м не зависит от глубины скважины и определяется условиями заряжения (сухие, обводненные), а скорость детонации Эмульпора практически не изменяется с глубиной заряжаемой скважины.
2. Заряды Эмульпора НП 40, 50, 60 в диаметрах 120, 140, 160 мм детонируют устойчиво от штатного промежуточного детонатора – шашки РУВ-850, причем его скорость детонации в данном диапазоне измерений линейно уменьшается при уменьшении диаметра заряда, а предельные режимы детонации Эмульпора НП находятся в диаметрах более 160 мм и критический диаметр заряда – существенно меньше 120 мм (при испытанных плотностях ВВ).

3. Получены конкретные значения скоростей детонации, зависимости изменения относительной работоспособности для различных марок Эмульпора от его плотности по действию ударной воздушной и сейсмической волнам, что позволяет определять их оптимальную область применения для различных горно-геологических условий при постановке бортов карьера в предельное положение, а также выбирать рациональную технологию БВР: диаметр, сетка, тип ВВ, порода.

4. С учетом результатов теоретических, лабораторных и полигонных исследований разработана методики расчета детонационных параметров эмульсионных взрывчатых веществ, сенсibiliзированных гранулами пенополистирола, которая дает удовлетворительное согласие расчетных и экспериментальных значений скоростей детонации при диаметрах заряда более 160мм и плотности более 0,75 г/см³ (точность расчета оказывается в пределах 2,5%, при точности эксперимента – 3%), позволяющая задавать необходимые свойства заряду ЭВВ.

5. При размерах частиц эмульсии 3-4мкм и использовании гранул пенополистирола с насыпной плотностью 50кг/м³ в смесях с $\xi_0=0,2-0,43$ (15-30% объемных частей гранул пенополистирола + 85-70% объемных частей эмульсии) Эмульпор имеет работоспособность близкую к Игданиту (ANFO) на пористой селитре. При этом воздушная пористость указанного ЭВВ не должна превышать 10%.

6. Получение Эмульпора с малой воздушной пористостью достигается смешением компонентов шнеками с разрывным винтом (или отверстиями в винтовой поверхности), применяемыми в СЗМ. Это дает возможность широкого применения Эмульпоров на основании полученного разрешения на постоянное применение.

7. При отбойке обводненных горных пород глубокими скважинами рекомендуется использовать эмульсию с температурой от -30 до +40 °С и динамической вязкостью от 30 до 100Па*с. Теоретически установлено и экспериментально подтверждено, что при создании Эмульпоров в топливной фазе целесообразно использовать дешевые сорта индустриального масла (типа И-20, И-40 и т.п.), как не содержащие ароматических углеводородов, что позволяет поставлять так называемую «холодную» эмульсию к предприятиям-потребителям, применяющим Эмульпор, в специальных контейнерах ж/д или другими видами транспорта при этом при заполнении смесительно-зарядных машин не требуется дополнительного подогрева эмульсии до температуры +20-30°С, что является необходимым технологическим условием для всех других ЭВВ с химическим газофицированием.

8. Разработана технология взрывания сухих и обводненных скважинных зарядов, в том числе глубиной до 50м, основанная на задании необходимых детонационных параметров Эмульпоров и позволяющая более широко и эффективно применять ЭВВ в различных горно-геологических условиях, при этом предварительно определяется необходимая плотность ЭВВ,

рассчитывается его работоспособность, скорость детонации и определяется поправка на расстояние между скважинами.

9. Предварительные испытания технологии заряжания низкоплотных ЭВВ ($250-350\text{кг/м}^3$) с заданными детонационными и энергетическими характеристиками (фактическая относительная работоспособность Эмульпора в открытых удлинённых зарядах изменяется в $1,4\div 1,85$ раза по отношению к обводненному гранулололу) в контурные скважины при «заоткоске», доказали возможность механизировать процесс заряжания контурных скважин, в отличие от гирляндных зарядов, с получением качественной «заоткоски».

10. Внедрение ЭВВ, сенсibilизированных гранулами пенополистирола, на разрезе “Междуреченский” позволило без ухудшения качества дробления горной массы и проработки подошвы уступов сократить количество эмульсии для производства ЭВВ на 20 % по сравнению с эмульсиями ПВВ-А70 и эмульсиями, а экономический эффект составляет 5 руб на 1 м^3 отбитой горной массы. В период с 2006-2011 гг. отбито более 2 млн. м^3 вмещающих горных пород с применением Эмульпоров.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих работах:

- в изданиях рецензируемых ВАК Минобрнауки России:

1. Состояние и основные направления развития буровзрывных работ на угольных разрезах ОАО «СУЭК» Б.В. Славский, И.Ю. Маслов в сб. «Взрывное дело» №96/53, Москва, МКВД при АГН, 2006г (ISSN 0372-7009).

2. Метод непрерывного измерения скорости детонации зарядов промышленных ВВ. И.Ю. Маслов, В.В. Пупков и др. в сб. «Взрывное дело» №96/53, Москва, МКВД при АГН, 2006г (ISSN 0372-7009).

3. Горинов С.А., Маслов И.Ю. Оценка детонационных параметров эмульсионных взрывчатых веществ, сенсibilизированных пластиковыми полимикросферами : Отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). – 2011. - №7. - С. 53-63.- М.: Издательство «Горная книга».

4. Кутузов Б.Н., Маслов И.Ю., Брагин П.А., Большаков В.В., Семин А.С. Производство эмульсионного ВВ Эмулан ПВВ-А-70 для ООО «Олёкминский рудник» на основе низкотемпературной эмульсии. – Горный журнал, 2011, № 8, с. 91–93.

5. Горинов С.А., Маслов И.Ю., Собина Е.П. Исследование структуры эмульпоров. : Отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). – 2011. - №9. - С. 3-14.- М.: Издательство «Горная книга».

6. Иляхин С.В., Маслов И.Ю. Плотность эмульсионных ВВ с химической газогенерацией, содержащих сухую фазу, и ЭВВ, сенсibilизированных пенополистиролом, по высоте скважинного заряда. Отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня

(научно-технического журнала). – 2012. - №12. М.: Издательство «Горная книга».

Работы, опубликованные в других изданиях:

7. Применение эмульсионных взрывчатых веществ на карьере «Юбилейный» Айхальского ГОКа. Филипповский Ю.В., Тихонов И.В., Деловеров В.Б., Маслов И.Ю. и др. В сборнике научно-практической конференции «Мирный-2000» (АК «АЛРОСА»), Республика Саха (Якутия), г. Мирный, 2000г.

8. Модернизация технологии буровзрывных работ на карьере рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК». Александров В.А., Тогунов М.Б., Славский Б.В., Маслов И.Ю. и др. В сборнике докладов и статей участников Всероссийской конференции «О состоянии взрывного дела в Российской Федерации. Основные проблемы и пути их решения», Москва, 28-30 мая 2002г.

9. Улучшение качества взрывной подготовки горной массы за счет применения промежуточных детонаторов с оптимальными габаритными размерами при инициировании скважинных зарядов эмульсионных ВВ. Маслов И.Ю., Пупков В.В. и др. Информационный бюллетень Национальной организации инженеров-взрывников, №2(5)/2003, МГГУ, Москва.

10. Маслов И.Ю. Оценка работоспособности эмульпоров// В кн. Технология и безопасность взрывных работ.- Екатеринбург. ИГД УрО РАН, 2012.- С.171-177.

Патенты:

11. Патент на изобретение №2388735 RU. «Способ изготовления эмульсионного взрывчатого вещества и эмульсионное взрывчатое вещество, изготовленное этим способом». / Маслов И.Ю. Роспатент, 2009 г.

12. Патент на полезную модель №90789 RU. «Линия изготовления обратных водомасляных эмульсий». / Маслов И.Ю., Брагин П.А. Роспатент, 2009г.

13. Патент на полезную модель № 92527 RU. «Патрон взрывчатого вещества»./ Брагин П.А., Кутузов Б.Н., Маслов И.Ю. Роспатент, 2010г.

14. Патент на полезную модель № 96945 RU. «Устройство заряжания скважин»./ Брагин П.А., Кутузов Б.Н., Маслов И.Ю. Роспатент, 2010г.

15. Патент на полезную модель № 114953 RU. «Установка для получения эмульсионного взрывчатого вещества»./ Брагин П.А., Кобелев В.П., Маслов И.Ю., Роспатент, 2012г.

Товарные знаки:

16. Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания) №425522. Эмульпор (заявка №2010706455, приоритет 04.03.2010г.). Роспатент