

ТЕХНОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

*Материалы
научно-технических конференций, 2015 г.*

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ТЕХНОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

*Материалы
научно-технических конференций, 2015 г.*

Екатеринбург
2016

УДК 622.235/063/
ББК 33.133
Т38

Рекомендовано к изданию Ученым советом ИГД УрО РАН

Издание осуществлено Некоммерческим партнерством
«Взрывники Урала»

Ответственный редактор – *Г. П. Берсенёв*
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник ИГД УрО РАН,
исполнительный директор НП «Взрывники Урала»

Т38 **Технология и безопасность взрывных работ:** Материалы научно-технических конференций, 2015 г. Отв. ред. Г.П. Берсенёв. – Екатеринбург: Издательство АМБ, 2016. – 120 с.: цв. ил.

В рамках издания представлены материалы научно-технических конференций по взрывным работам в карьерах, в строительстве и на объектах промышленности Урала, проведенных 20–21 мая и 2–3 декабря 2015 г. Институтом горного дела УрО РАН и НП «Взрывники Урала», с участием 123 специалистов от 62 предприятий, занимающихся взрывными работами на Урале, в Сибири и Москве. Декабрьская конференция проведена в рамках VI Уральского горнопромышленного форума.

УДК 622.235/063/
ББК 33.133

СОДЕРЖАНИЕ

Берсенева Г.П. Научно-технические конференции по взрывным работам на Урале	5
Глебов А.В. О VI Уральском горнопромышленном форуме	10
Бесишапошиников Ю.П., Кожевников В.Е., Чернухин В.И. Использование нового взрывчатого состава для обработки металлов взрывом в условиях АО «УРАЛХИММАШ»	13
Горинов С.А., Иляхин С.В., Маслов И.Ю., Брагин П.А. Влияние содержания жидкого топлива и влаги в твердой фазе гранэммитов на теплоту их взрывчатого разложения	18
Матухно Н.С., Флягин А.С., Шеменов В.Г., Русских А.П., Леонтьева И.А. Оценка детонационных характеристик эмульсионного взрывчатого вещества, полученного способом химической сенсibilизации с дополнительным введением в состав волокон хризотил-асбеста	26
Русских А.П., Котляшев А.А., Корнилов М.В. Применение рассредоточенных скважинных зарядов в карьерах ОАО «Ураласбест»	37
Меньшиков П.В., Шеменов В.Г., Синицын В.А. Измерительный комплект оборудования DATATRAP II DATA/VOD RECORDER для определения основных свойств и характеристик взрывчатых веществ, параметров взрыва и его воздействия на окружающую среду	42
Овчаров И.В., Баталов С.В., Шуцкий А.А., Карачинский С.И., Тимофеев О.А. Безопасный низковольтный программируемый электродетонатор мгновенного действия и перспективы его использования в горнорудной промышленности	48
Смирнов А.А., Рожков А.А., Качалов И.В. Принципиальные основы определения параметров расположения скважин при массовой отбойке кварца на Кыштымском подземном руднике	54

Крапивина И.С., Берсенёв Г.П. Методика выбора эффективных параметров буровзрывных работ при проведении строительных горных выработок66

Сухов Р.И., Реготунов А.С. Результаты испытаний устройства для определения прочностных и структурных свойств горных пород74

Реготунов А.С. О закономерностях распределения напряжений в скальных горных породах при ударно-поворотном бурении коронкой штыревого типа82

Котяшев А.А., Пахряев Б.В., Русских А.П. Практика применения эмульсионных взрывчатых веществ в условиях карьеров ОАО «Ураласбест»87

Кантор В.Х., Дегтярев Г.И., Жуликов В.В. Новое поколение мобильного оборудования для производства и механизированного заряжания промышленных взрывчатых веществ на транспортной базе колесного трактора94

Кантор В.Х., Дегтярев Г.И., Жуликов В.В. Мобильное оборудование самосвального типа для производства и механизированного заряжания промышленных взрывчатых веществ на карьерах 101

Болкисева Е.В., Родин В.Е. О применении методов подобия для оценки безопасного расстояния при взрывных работах 107

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ КОНФЕРЕНЦИИ ПО ВЗРЫВНЫМ РАБОТАМ НА УРАЛЕ

Г.П. Берсенёв

В соответствии с программой проведения VI Уральского горнопромышленного форума в мае и декабре 2015 г. проведены две научно-технические конференции по взрывному делу на Урале.

Первая конференция прошла в г. Челябинске с выездом на Коркинский угольный разрез Челябинской угольной компании и на Копейский химический завод.

Конференция проведена на базе передового на Урале специализированного предприятия буровзрывных работ ООО «ЮжУралВзрывпром» (генеральный директор – Воробьев Василий Анатольевич, технический директор – Малакичев Анатолий Владимирович).

С периода регистрации данного предприятия – с 2009 г. произошли большие изменения в его хозяйственной деятельности.

Годовой объем буровзрывных работ проводимых на нерудных карьерах и в строительстве вырос с 2,9 до 7,2 млн м³ или в 2,5 раза; соответственно увеличился в 2,8 раза расход взрывчатых веществ, который достиг в 2014 г. 6,2 тыс. тонн. Всего взорвано более 30 млн м³ горной массы и израсходовано 23,6 тыс. тонн ВВ.

Расширилась зона деятельности предприятия за счет освоения новых объектов в Челябинской, Свердловской и Оренбургской областях и в Республике Башкортостан.

Организована и эффективно функционирует собственная маркшейдерская служба, позволившая значительно улучшить качество взрывных работ и своевременно устранять возникающие споры между Заказчиками и Подрядчиком.

Предприятие имеет современную отечественную и зарубежную буровую технику – станки шарошечного бурения СБШ-250 МНА-32; AtlasCopcoROCL8, JNGEPSOLL и буровые установки УРБ-2ДЗ.

Для производства взрывных работ используются промышленные ВВ, получаемые с казенных химических заводов Урала и России, и эмульсионные ВВ, приобретаемые с родственных предприятий – ООО «АВТ-УралСервис» (г. Качканар), «Ураласбест» (г. Асбест) и «Уральский Сибирит» (г. Магнитогорск).

На предприятии налажено собственное изготовление ВВ – гранулита РП. С помощью стационарной модульной смесительной установки ПСУ конструкции Московской научно-технической фирмы «Взрывтехнология» в 2013–2014 гг. изготовлено более 1800 тонн, а в специальной приобретенной в 2014 г. передвиж-

Берсенёв Геннадий Порфирьевич – исполнительный директор НП «Взрывники Урала», кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИГД УрО РАН, Заслуженный и Почетный Строитель России

ной смесительно-зарядной машине МСЗ-15-НП-К-031 конструкции Екатеринбургской фирмы «НИПИГОРМАШ» выработано более 300-х тонн. Успешное освоение данной машины показывает эффективное ее внедрение, способствующее значительному снижению ручного труда на производстве массовых взрывов. Такую же цель преследует и внедрение гидравлических экскаваторов «Кранекс ЕК-400-05» и Komatsu с навесным оборудованием – гидромолотом на разделке негабаритных фракций во взорванной горной массе.

На первой конференции выступили:

– **Овчаров Игорь Владимирович** – начальник отдела, руководитель взрывных работ ФГУП «Российский федеральный ядерный центр, Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина» (г. Снежинск Челябинской области) с докладом по безопасному низковольтному полупроводниковому ЭД мгновенного действия и перспективам его использования в горнорудной промышленности.

– **Пергамент Владимир Хаимович** – старший научный сотрудник Магнитогорского технического университета рассмотрел вопросы влияния сейсмоздействия и ударно-воздушных волн при взрывных работах на охраняемые объекты.

– **Батраков Дмитрий Николаевич** – старший научный сотрудник научного центра ВОСТНИИ (г. Кемерово) в своем докладе «Технологический способ ведения БВР с целью повышения устойчивости бортов карьера при снижении их общей себестоимости» осветил опыт работы Нюрбинского ГОКа АК «АЛРОСА» (Республика Якутия) и комбината «Ураласбест» (Свердловская обл.), и привел ряд ценных мероприятий по указанной тематике.

– **Синицын Виктор Александрович** – к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории «Разрушение горных пород» Института горного дела УрО РАН, выступил с презентацией вновь приобретенного в ИГД УрО РАН прибора для определения скорости детонации взрывчатых веществ DATATRAPIT-MDATA/VODRecorder, использующий реостатный принцип измерения.

На основе использования данного прибора подготовлена и приведена в настоящем сборнике статья **Шеменева В.Г., Синицына В.А., Меньшикова П.В.** (ИГД УрО РАН) «Определение детонационных характеристик взрывчатых веществ в производственных условиях и контроль негативного воздействия взрывных работ на объекты антропогенной среды с использованием прибора DATATRAP».

– **Смирнов Алексей Алексеевич** – к.т.н., старший научный сотрудник ИГД УрО РАН в сообщении «Принципиальные основы расчета параметров расположения скважин при массовой отбойке кварца на Кыштымском подземном руднике» привел результаты проведенной институтом научно-исследовательской работы.

– **Болкисев Владислав Семенович** – к.т.н., старший научный сотрудник ИГД УрО РАН сделал подробную оценку директивных способов по определению

безопасных расстояний по действию ядовитых газов при взрывных работах в условиях населенных пунктов.

Конференция рекомендовала горным предприятиям, ведущим взрывные работы с применением взрывчатых веществ, изготавливаемых на местах работ (комбинат «Ураласбест»; ОАО «АВТ-УралСервис», ОАО «Орика-УГМК», ООО «Уральский Сибирит» и др.), а также ведущим взрывные работы в непосредственной близости от населенных пунктов для (ОАО «Комбинат Магнезит», ОАО «Ураласбест», ЗАО «Золото Северного Урала», ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», ОАО «Уралхиммаш» и др.) для определения важнейшего показателя ВВ – скорости детонации применять прибор DATATRAP/II DATA/VODRecorder.

Практической частью конференции явились организованные ООО «Юж-УралВзрывпромом» и НП «Взрывники Урала» поездки на Коркинский угольный разрез и на Копейский химический завод «Пластмасс».

Начальник производства ОАО по добыче угля «Челябинская угольная компания» **Батулин Сергей Владимирович** обстоятельно пояснил существующее положение горных работ на Коркинском разрезе. А в далеком 1936 году на вскрытии этого карьера был произведен самый большой на то время массовый взрыв в Советском Союзе. Прежде чем выполнить этот взрыв Уралвзрывпром, тогда единственная на Урале специализированная буровзрывная подрядная организация, провела ряд массовых взрывов на выброс.

Первый крупный взрыв на выброс по вскрытию месторождений в Советском Союзе был произведен 11 мая 1935 г. специалистами Уралвзрывпрома под руководством главного инженера **Ф. В. Селевцева** и при участии руководителей треста «Союзвзрывпром» на Воронцовском руднике Ауэрбаховского рудоуправления (Северный Урал). 98 т аммонита и некондиционных взрывчатых веществ одновременно было взорвано в 12 минных колодцах глубиной от 6 до 10,5 м. В результате взрыва образовались две траншеи общим объемом 45 тыс. м³, окаймленные гребнем выброшенной породы высотой 3–5 м, глубина основной траншеи составляла от 11,5 до 14,8 м, глубина второй траншеи – 7,0–7,6 м при ширине по верху 50 м. Взрывом было вскрыто до 800 тыс. т богатейшей железной руды – гематита. По данным Востокруды взрыв сократил на 75 % время выполнения вскрышных работ и снизил их стоимость на 38 % против запроектированного экскаваторным методом.

Положительный опыт Воронцовского взрыва дал «права гражданства» этому прогрессивному методу взрывных работ и проложил дорогу к грандиозному по тем временам и даже по современным масштабам Коркинскому взрыву.

Прежде чем приступить к такому грандиозному взрыву (1808 т ВВ), Уралвзрывпром произвел предварительный взрыв первой очереди 400 т ВВ. Основной задачей предварительного взрыва являлось создание разрезной траншеи и одновременно вскрышного уступа направленным выбросом породы. Подготовленный за два месяца взрыв участка разрезной траншеи длиной

100 м Коркинского месторождения бурых углей и выполненный 28 апреля 1936 г. под руководством главного инженера **Ф.В. Селевцева** не дал желательных результатов, не был образован вскрышной уступ, т. к. значительная часть разрыхленной породы заполнила основную выемку. С учетом результатов взрыва первой очереди был скорректирован проект основного Коркинского взрыва, в отличие от первоначального проекта было принято однорядное расположение зарядов, длина траншеи составила 1000 м, число зарядов 36, масса заряда была увеличена до 75 т ВВ, достигая в отдельных шурфах до 90 т ВВ. Общая масса ВВ составила 1808 т. Подготовительные работы к основному взрыву продолжались 4,5 месяца. Руководили взрывом главные инженеры Уралвзрывпрома и треста «Союзвзрывпром» **Ф. В. Селевцев** и **Г. П. Демидюк**.

В результате проведенного 16 июля 1936 г. Коркинского основного взрыва образовалась разрезная траншея длиной 1000 м, глубиной в среднем 18 м (от 11 до 22 м), шириной по низу 20 м (от 5,1 до 31,7 м) и по верху 80 м (от 66 до 115 м). Объем выброшенной породы составил 802 тыс. м³, или 89 % проектного объема, удельный расход – 2,25 кг/м³. Коркинский взрыв почти на год сократил ввод в эксплуатацию богатейшего в системе Челябинска Коркинского месторождения бурых углей, ввел коррективы в расчеты параметров взрывов на выброс, явился хорошей школой для Уралвзрывпрома и специалистов-взрывников нашей страны.

И хотя в настоящее время разрез дает чуть больше 1 млн. тонн угля против 6 млн.т в пору расцвета, он представляет собой весьма внушительные размеры: глубина более 500 метров, длина съездов – до 7 км, в размерах по поверхности – более 3×2 км.

На Копейском химзаводе «Пластмасс» участники конференции ознакомились с процессом изготовления прессованных шашек-детонаторов Т-400Г. Обстоятельную информацию представили экскурсоводы – технолог **Соломатина Надежда Александровна** и технолог цеха – **Жаворонкова Людмила Васильевна**. Сопровождение по экскурсиям осуществлял начальник ПТО ООО «ЮжУралВзрывпром» **Поникаров Дмитрий Юрьевич**.

Вторая конференция началась с поездки в г. Невьянск, где на Невьянском цементном заводе, первом цемзаводе на Урале, отметившем в 2014 г. свое 100-летие, проведено выездное совещание НП «Взрывники Урала». Участники ознакомились с горными и взрывными работами на сырьевой базе цемзавода – Шуралинском известняковом карьере и с интересным музеем завода.

А более значительный музей, государственный – «Демидовская наклонная башня» группа из 22 участников под руководством экскурсоводов **Шаманаева Андрея Владимировича** и **Суриной Натальи Сергеевны** посетила и саму наклонную башню и богатый экспонатами музей.

На конференции с докладами и сообщениями выступили 14 человек, из них – академик Академии наук России, и два генеральных директора из г. Москвы (АО «Взрывиспытания» и НТФ «Взрывтехнология»).

Сообщения академика АН России **Адушкина Виталия Васильевича**; ген. директора АО «Взрывиспытания» доктора технических наук **Державца Аврама Семеновича**; ген. директора НТФ «Взрывтехнология» **Кантора Вениамина Хаимовича**; кандидатов технических наук, ведущих сотрудников ООО «Глобал Майнинг Эксплозив–Раша» **Горинова Сергея Александровича** и **Феодоритова Михаила Ивановича** (Москва); научных сотрудников ИГД УрО РАН **Реготунова Андрея Сергеевича** и **Флягина Александра Сергеевича**; директора ООО «Промтехвзрыв» ОАО «Ураласбест» **Русских Александра Петровича**; главного горняка ЗАО «Сырьевая компания» (г. Стерлитамак, Республика Башкортостан) **Бахтигареева Тагира Тимербаевича** и других выступающих по различным направлениям взрывного дела на Урале и в России были заслушаны участниками конференции с большим вниманием и взяты для практического претворения в их последующих работах.

Для участников конференции была организована поездка в г. Верхняя Пышма в «Музей военной техники «Боевая слава Урала», где усилиями Уральской горно-металлургической компании и ее генерального директора **Козицына Андрея Александровича** собраны многочисленные экспонаты автомобильной, авиационной, танковой, железнодорожной и другой техники исторических и современных лет, прекрасно оборудованы закрытый музей военной техники, снаряжения и истории и открытые площадки для экспонатов военной техники.

На конференциях вручены Почетные грамоты видным специалистам, внесшим большой вклад и в науку взрывного дела на Урале:

– **Пергаменту Владимиру Хаимовичу** – ведущему сотруднику Магнитогорского государственного технического университета;

– **Иванову Андрею Сергеевичу** – главному технологу Новосибирского завода «Искра»;

– **Поникарову Дмитрию Юрьевичу** – начальнику ПТО ООО «ЮжУралВзрывпром».

На проводимых в 2015 г. мероприятиях участвовали 123 специалиста из 62 организаций Екатеринбурга, Москвы, Урала, Сибири, в т.ч. один представитель из Польской Народной Республики.

Решением Главного управления Министерства Юстиции Российской Федерации по Свердловской области выдано 11 июля 2016 г. свидетельство о государственной регистрации некоммерческой организации – Ассоциации (вместо Некоммерческого партнерства) «Союз научно-производственных предприятий по взрывному делу на Урале», а Управлением Федеральной налоговой службы по Свердловской области внесены изменения – Президент Ассоциации – Корнилков Сергей Викторович, а руководитель юридического лица – Генеральный директор Ассоциации «Взрывники Урала» – Берсенёв Геннадий Порфирьевич.

О VI УРАЛЬСКОМ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ ФОРУМЕ

А.В. Глебов

Со 2 по 4 декабря 2015 года в Екатеринбурге Институт горного дела УрО РАН и Компания «ЭкспоГрад» с участием Института металлургии УрО РАН и Уральского государственного горного университета провели VI Уральский горнопромышленный форум.

Поддержку проведения мероприятий Форума оказали: Федеральное агентство научных организаций, Департамент по недропользованию по УрФО, Министерство промышленности и науки Свердловской области, Комитет по природопользованию и экологии Свердловского областного союза промышленников и предпринимателей, НП «Горнопромышленная ассоциация Урала», Уральская Торгово-промышленная палата и Союз машиностроительных предприятий Свердловской области.

В рамках программы Форума состоялись: заседание Горного совета по Уральскому федеральному округу (далее Горного совета), 6 научно-технических конференций Всероссийского уровня и с международным участием, в том числе с выездом на производственные предприятия; заседание в формате «круглого стола»; 13 (XXXIV) Уральский горнопромышленный съезд и заседание Уральского отделения Академии горных наук; Молодежный форум-кейс констел и VIII-специализированная выставка «ГОРНОЕ ДЕЛО: Технологии. Оборудование. Спецтехника-2015».

На научно-технических конференциях форума приняли участие более 300 специалистов, в том числе: **Захаров** Валерий Николаевич, директор Института проблем комплексного освоения недр РАН; **Манжуров** Игорь Леонидович, руководитель Уральского территориального управления Федерального агентства научных организаций; **Корнилков** Сергей Викторович, директор института горного дела УрО РАН; **Валиев** Нияз Гадымович, первый проректор Уральского государственного горного университета; **Макаров** Александр Викторович, вице-президент Уральской ТПП; **Беляев** Сергей Юрьевич, начальник отдела горно-металлургического комплекса Министерства промышленности и науки Свердловской области и др.

Форум стал крупнейшей научно-технической площадкой, представляющей передовые решения и наукоемкие технологии для модернизации российского горнодобывающего, металлургического и машиностроительного комплексов.

В первый день работы Форума состоялись ЗАСЕДАНИЕ ГОРНОГО СОВЕТА ПО УРАЛЬСКОМУ ФЕДЕРАЛЬНОМУ ОКРУГУ, ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ VI Уральского горнопромышленного форума, УРАЛЬСКИЙ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫЙ СЪЕЗД.

Глебов Андрей Валерьевич – кандидат технических наук, секретарь оргкомитета VI Уральского Горнопромышленного форума, генеральный директор НП «Горнопромышленная ассоциация Урала», зам. директора ИГД УрО РАН

В ходе заседания Горного совета по УрФО заслушаны приветствия начальника департамента по вопросам экономической и социальной политики Аппарата Полномочного представителя Президента РФ в Уральском федеральном округе **Ленской А.А.**, сопредседателя Горного совета по Приволжскому федеральному округу, вице-президента группы предприятий ЗУМК по науке и технической политике **Земскова А.Н.**, сопредседателя Горного совета по Уральскому федеральному округу, президента НП «Горнопромышленная ассоциация Урала» **Корнилкова С.В.**, а также доклады и сообщения членов Горного совета Уральского федерального округа.

Участники заседания Горного Совета обсудили современное состояние минерально-сырьевой базы Уральского федерального округа по твердым полезным ископаемым, золотодобывающей отрасли и машиностроительного комплекса Свердловской области, проблемы и перспективы подготовки инженерных кадров для горной промышленности, а также основные направления совершенствования нормативно-правовой базы в области рационального природопользования, безопасности и охраны труда в горнорудной и металлургической промышленности.

Между НП «Горнопромышленная ассоциация Урала», НП «Молодежный форум лидеров горного дела» и Благотворительным фондом «Надежная смена» был заключен меморандум о сотрудничестве по вопросам эффективной координации совместных действий в сфере молодежной и кадровой политики, направленных на профессиональную ориентацию, формирование активной профессиональной и гражданской позиции у молодежи минерально-сырьевого комплекса Российской Федерации.

В ходе пленарного заседания Форума заслушаны доклады: «Об основных направлениях интеграции горной общественности стран СНГ» (**Галиев С.Ж.**, директор горного департамента ТОО «НИИЦ ERG», Казахстан); «Научно-исследовательское и опытно-конструкторское обеспечение программы импортозамещения при геологоразведке, добыче и глубокой переработке твердых полезных ископаемых» (**Захаров В.Н.**, директор ИПКОН РАН, Президент-координатор ТП ТПИ); «Геология техногенно-минеральных образований Урала и Поволжья» (**Наумов В.А.** директор Естественнонаучного института при Пермском Государственном научно-исследовательском университете). С кратким отчетом о деятельности выступил Президент НП «Горнопромышленная ассоциация Урала» **Корнилков С.В.**

Ведущие горнопромышленники и ученые на пленарном заседании были отмечены наградами: Медалью лауреата «Уральской горной премии», Нагрудным знаком «Горняцкая слава» и Благодарственным письмом НП «Горнопромышленная ассоциация Урала».

На научно-технических конференциях рассмотрены вопросы по: геомеханике в горном деле; развитию ресурсосберегающих технологий во взрывном деле; технологическим и экологическим проблемам отработки природных и

техногенных месторождений; проблемам карьерного транспорта и перспективных решений в технике и технологиях; инновационным технологиям обогащения минерального и техногенного сырья; информационным технологиям в горном деле; современным металлургическим технологиям переработки комплексных руд и техногенных образований.

На заключительном пленарном заседании форума прошло вручение дипломов лауреатов и участников выставки. На выставке продемонстрированы новинки дробильно-сортировочного, конвейерного, обогатительного, геодезического, подъемно-транспортного, вентиляционного, бурового и другого оборудования, а также возможности импортозамещения и обеспечения конкурентоспособности Российских производителей.

За три дня работы мероприятия Уральского горнопромышленного форума посетили 2124 специалиста. 73 % посетителей – представители предприятий Екатеринбурга и городов Свердловской области. 14 % посетителей приехали на выставку из городов Челябинской области, 13 % – из других регионов (Москва, Пермь, Санкт-Петербург, Курган, Тюмень, Самара, Республика Башкортостан, Красноярск, Омск, Пенза, Челябинск, Н-Новгород, Чебоксары, Ульяновск, ХМАО и др.), а также гости из Польши, Финляндии, Чехии, Казахстана, Азербайджана, Украины, Монголии, Германии, Англии. 35 % зарегистрировавшихся посетителей являются директорами предприятий и руководителями высшего звена, 22 % – руководители подразделений, 15 % – менеджеры направлений, технологи, 16 % – инженеры и мастера, 12 % – прочие специалисты.

Подводя итоги, следует отметить, что Уральский горнопромышленный форум стал действенным местом встречи специалистов горных отраслей, позволил расширить дальнейшие деловые контакты и решить многие задачи по развитию бизнеса.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВОГО ВЗРЫВЧАТОГО СОСТАВА ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ВЗРЫВОМ В УСЛОВИЯХ АО «УРАЛХИММАШ»

Ю.П. Бесшапошников, В.Е. Кожевников, В.И. Чернухин

Взрывной способ обработки металлов применяется в машиностроении и металлургии для штамповки, запрессовки, упрочнения, изготовления биметаллов и других целей. Многообразие форм обработки металлов взрывом предъявляет различные требования к характеристикам взрывчатых веществ (ВВ). Так, для упрочнения, резания, пробивания отверстий и прессования порошков необходимы ВВ с высокой скоростью детонации (7–8 км/с), большой плотностью и малым критическим диаметром или критической толщиной слоя.

Для сварки взрывом скорость детонации ВВ не должна превышать скорости звука в свариваемых металлах, а в ряде случаев нужны ВВ со скоростью детонации менее 2 км/с. Заряд ВВ должен обеспечить необходимое количество энергии, достаточное для создания в области соударения давление для развития пластической деформации.

В США в качестве низкоимпульсных составов для сварки предложены низкоплотные эластичные ВВ – ячеистые, волокнистые, пластичные, сыпучие взрывчатые смеси, разбавленные для снижения скорости детонации инертным наполнителем.

Отечественная и мировая практика свидетельствует о необходимости разработки низкоскоростных ВВ для импульсной обработки металлов с различными физико-механическими свойствами. При этом при импульсной обработке и сварке взрывом заготовок различной толщины из различных материалов требуется индивидуальный подбор взрывчатых веществ, обеспечивающих оптимальные скорость детонации и теплоту взрыва.

Для сварки металлов взрывом официально разрешены к применению следующие ВВ: аммониты АТ-1, (2,3) по ТУ 7511903-624-93, аммонит А-2 (ТУ 84-1005-84), аммонит №6ЖВ – порошок (ГОСТ 21984-76), игданит П (ТУ 7276-001-04683349-98). Однако эти ВВ имеют существенные недостатки:

– возможные возникновения недопустимых отклонений по скорости детонации на зарядах одной и той же партии ВВ или при переходе от одной партии к другой;

Бесшапошников Юрий Петрович – кандидат технических наук, директор производства взрывной обработки НПП «Лаборатория импульсной обработки металлов», АО «Уралхиммаш», г. Екатеринбург, Россия.

Кожевников Владимир Елисеевич – кандидат технических наук, бывший начальник лаборатории АО «Уралхиммаш», г. Екатеринбург, Россия

Чернухин Владимир Иванович – кандидат технических наук, начальник лаборатории, НПП «Лаборатория импульсной обработки металлов», ОАО «Уралхиммаш», г. Екатеринбург, Россия.

– с течением времени изменяются детонационно-баллистические свойства этих ВВ. Так, у аммонита №6ЖВ после 6-ти месяцев хранения замечено снижение скорости детонации на 300–500 м/с, что соответствует падению на 8–13 %, а у аммонита АТ-1 после 9-ти месяцев хранения – до 600 м/с, т. е. уменьшению скорости детонации почти на 30 % [1];

– перечисленные ВВ надежно взрываются только со скоростью детонации превышающей 2000 м/с, что не позволяет использовать их для получения целого ряда биметаллических соединений. Например, для получения качественного сварного соединения алюминий-медь, алюминий-сталь, свинец-сталь, в ряде случаев требуется скорость детонации менее 2000 м/с, вплоть до 1500–1000 м/с;

– применение этих ВВ в единичном и мелкосерийном производствах для сварки взрывом не всегда экономически оправдано, т.к. требуется оперативная замена ВВ одного состава на другой в малых количествах – до одной тонны. Частая же замена ВВ приводит к дополнительным существенным затратам, связанным с приобретением и хранением ВВ, что в конечном счете, делает такое производство порой нерентабельным.

Таким образом в сварке взрывом назрела актуальная задача: создание базовых ВВ и на их основе – низкоскоростных смесей с более стабильными детонационно-баллистическими свойствами и экономически выгодными в условиях единичного и мелкосерийного производств.

Одним из решений этой задачи служит оперативная корректировка скорости детонации путем введения в некоторое базовое ВВ соответствующих добавок непосредственно перед проведением взрывных работ. Это позволит повысить эффективность использования энергии взрыва для импульсной обработки металлов за счет применения смесевых ВВ с соответствующими физическими (плотностью, стабильностью и др.), энергетическими и детонационными характеристиками, которые в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого материала обеспечиваются соотношением компонентов во взрывчатой смеси.

В качестве основного компонента-окислителя экономически предпочтительна аммиачная селитра. Для горючих компонентов целесообразно: дизельное топливо (ДТ), керосин (К) и древесная мука (ДМ). Согласно классификации по рецептурному составу эти смесевые ВВ относятся к классу динамонов [2] (базовое ВВ). При этом испытываемые ВВ предварительно разделили на две основные группы. В первую группу входили динамоны, в которых горючим является жидкий компонент (дизельное топливо, керосин), а во вторую – твердый компонент (древесная мука). В качестве стабилизирующей и снижающей скорость детонации инертной добавки выбран формовочный песок (П), как наиболее доступный и дешевый материал. Для достижения лучшего перемешивания компонентов друг с другом все смеси приготавливались на основе измельченной мелкого помола аммиачной селитры (АСМ).

Поскольку в сварке взрывом основным параметром служит скорость детонации, проведены обширные исследования по скорости детонации динамонов. Скорость детонации (D) измеряли методом контактных датчиков [3] согласно ГОСТ В 3250-75. Результаты замеров представлены в виде графических зависимостей (рис.1-5). Из анализа этих экспериментальных данных сделаны следующие выводы:

– В первой группе динамонов оптимальное содержание горючего компонента в объеме взрывчатой смеси составляет 5–7,5 % для дизтоплива и 5–10 % для керосина (рис. 1).

– Во второй группе динамонов оптимальное содержание горючего компонента (древесная мука) составляет 30–50 % от объема аммиачной селитры (рис.4).

– Максимальное содержание инертной добавки (песок) в динамоне зависит от его состава и толщины заряда. Так, при оптимальном содержании горючего компонента, количество инертной добавки относительно аммиачной селитры не превышает 100 % от объема аммиачной селитры по 1 группе динамонов и 67 % – по 2 группе при толщине (H) заряда 4 см (рис. 2 и 4).

Данные смесевые ВВ прошли успешную апробацию в АО «Уралхмаш». На основе полученных опытных данных разработаны новые ВВ: УРАЛИТЫ, на которые были выпущены ТУ 7276-037-00217320-2014 и получено разрешение на их применение.

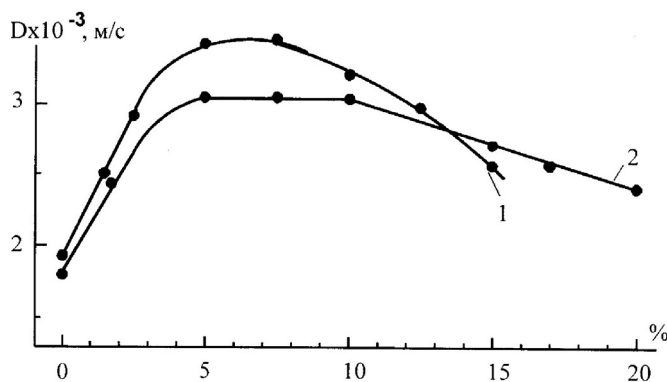


Рис. 1. Зависимости скорости детонации от объемного содержания жидких горючих компонентов для динамонов:
1- ACM + ДТ (при толщине заряда $H=5$ см); 2- ACM + К (при $H=3$ см).

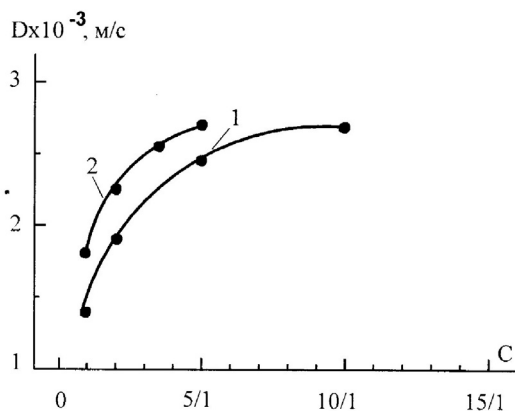


Рис. 2. Зависимости D от объемного соотношения аммиачной селитры к песку в динамонах с жидким горючим компонентом при $H=4\text{см}$:

1- (АСМ + 5%ДТ)/Песок; 2- (АСМ + 5%К)/Песок.

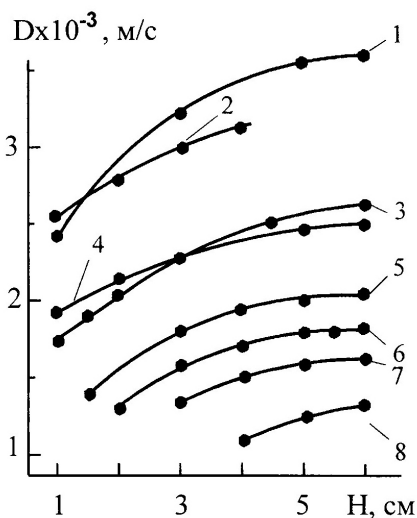


Рис.3. Зависимости скорости детонации от толщины заряда аммиачной селитры и динамонов (с жидки-ми горючими компонентами) с добавкой песка или без нее:

1- АСМ+5%ДТ; 2 - АСМ+5%К; 3 - (АСМ+5%ДТ)/П=3/1; 4 - (АСМ+5%К)/П=3/1; 5 - АСМ;

6 - АСМ/П=5/1; 7 - АСМ/П=3/1; 8 - АСМ/П=2,5/1.

Примечание. Числовая дробь означает отношение селитры к песку по объему.

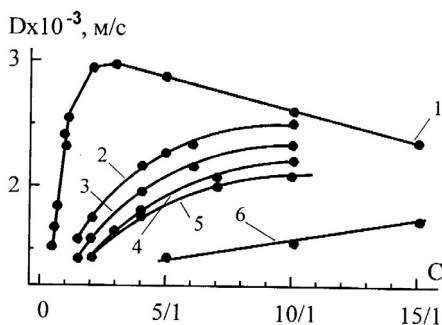


Рис.4. Зависимости скорости детонации от объемного содержания древесной муки и песка для динамонов при $H=4\text{ см}$:

- 1 – АСМ+ДМ; 2 – (АСМ+ДМ=2/1, 3/1, 5/1)/П; 3 – (АСМ+ДМ=10/1)/П;
4 – (АСМ+ДМ=1/1)/П; 5 – (АСМ+ДМ=15/1)/П; 6 – (АСМ+ДМ=1/2)/П.

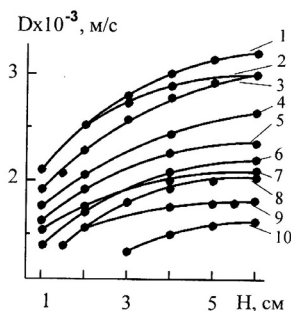


Рис. 5. Зависимости скорости детонации от толщины заряда для динамонов (с древесной мукой) с добавкой песка или без нее:
1- АСМ+ДМ=3/1; 2- АСМ+ДМ=2/1, 5/1; 3- АСМ+ДМ=1/1, 10/1;
4- АСМ+ДМ=15/1; 5- (АСМ*+ДМ=2/1, 3/1 и 5/1)/П=10/1;
6- (АСМ*+ДМ=10/1)/П=10/1; 7- (АСМ*+ДМ=15/1)/П=10/1;
8- АСМ+ДМ=2/1; 9- (АСМ+ДМ=1/1)/П=4/1;
10- (АСМ+ДМ=1/2)/П=10/1.

Прим. 1. См. Примечание к рис.4,

2.*- увлажненная до 0,6%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кожевников В.Е, Бешапошников Ю.П., Глобин Н.К., Геймур В.В., Раскатов В.В., Чернухин В.И. /Детонация плоских зарядов смесевых ВВ применительно к сварке взрывом. // Физика горения и взрыва, 1990, т.26, N 3, с.115-118.
2. Поздняков З.Г., Росси Б.Д. Справочник по промышленным взрывчатым веществам и средствам взрывания. – М.: Недра, 1977, – 256 с.
3. Бешапошников Ю.П., Кожевников В.Е., Чернухин В.И. и др. Исследование характеристик аммиачной селитры и ее смесей с кварцевым песком применительно к сварке взрывом. // Физика горения и взрыва, 1992, т.28, N 5, с.131-132.

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЖИДКОГО ТОПЛИВА И ВЛАГИ В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ ГРАНЭМИТОВ НА ТЕПЛОТУ ИХ ВЗРЫВЧАТОГО РАЗЛОЖЕНИЯ

С.А. Горинов, С.В. Иляхин, И.Ю. Маслов, П.А. Брагин

Гранэмита представляют собой смесь эмульсионного ВВ или матричной эмульсии с твердой фазой ANFO. Численный индекс в обозначении марки гранэмита указывает на процентное содержание в нем твердой фазы в виде ANFO. Эмульсионная фаза гранэмита может быть как сенсibilизированной газовыми пузырьками или полыми микросферами, так и несенсibilизированной. Безопасность и относительная дешевизна данных ВВ, а также возможность механизации зарядных работ обусловили широкое их распространение при добыче твердых полезных ископаемых.

При разработке и изучении гранэмита были рассмотрены важные вопросы их эффективного применения [1 – 9]: водоустойчивости и вязкости гранэмита в зависимости от соотношения «эмульсия : ANFO»; выбору средств инициирования гранэмита; возможности использования гранул пористой аммиачной селитры (АС) одновременно в качестве энергетического материала и сенсibilизатора эмульсионной фазы гранэмита; влиянию сенсibilизации эмульсионной фазы гранэмита на детонационные характеристики ВВ; снижению устойчивости эмульсии вследствие абсорбции топливной фазы эмульсии гранулами АС; выяснению условий наиболее полного выделения энергии при детонации гранэмита.

Однако при этом не учитывалось, что ANFO, входящее в состав твердой фазы гранэмита, может формироваться на основе гранул АС повышенной влажности.

Отсутствие учета такого фактора допустимо для условий горных предприятий, расположенных в областях с развитой транспортной инфраструктурой. Но, при освоении месторождений твердых полезных ископаемых в труднодоступных и малообжитых районах Полярного Урала, Восточной Сибири и Дальнего Востока повышенная влажность аммиачной селитры, доставляемой на предприятия для местного производства ВВ, этот фактор приобретает важную практическую роль.

Горинов Сергей Александрович – кандидат технических наук, главный научный консультант ООО «Глобал Майнинг Эксплозив – Раша», г. Москва, akaz2006@yandex.ru

Иляхин Сергей Васильевич – доктор технических наук, проф. Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе isv11@mail.ru, г. Москва

Маслов Илья Юрьевич – кандидат технических наук, главный инженер ООО «Глобал Майнинг Эксплозив – Раша», ilmaslov@mail.ru, г. Москва

Брагин Павел Александрович – инженер., главный специалист по буровзрывным работам ООО «Глобал Майнинг Эксплозив – Раша» pavelbragin83@mail.ru, г. Москва

Известно, что начальная влажность (АС) не отражается на качестве эмульсионной фазы гранэммитов, т. к. она уже учитывается при расчете необходимого количества воды при изготовлении окислительной фазы эмульсии.

Но этот фактор отражается на взрывчатых свойствах твердой фазы гранэммитов, т. к. при влажности АС более 1 % детонационные параметры ANFO резко снижаются. При влажности АС больше 4 % детонация смеси становится невозможной [10, 11]. Повышенное содержание жидкого нефтепродукта также отрицательно сказывается на взрывчатых способностях ANFO (при содержании жидкого нефтепродукта более 9 % ANFO не способно детонировать) [12].

Эти свойства смеси АС с жидкими нефтепродуктами соответствуют условиям использования ее в качестве самостоятельного ВВ (ANFO, игданит). При взрывании гранэммитов реакция взрывчатого разложения твердой фазы происходит одновременно с детонацией эмульсионной фазы. Это сказывается на требованиях к содержанию жидкого топлива и влаги в твердой фазе гранэммитов.

Решение вопроса о предельно допустимых величинах влажности и содержания жидкого топлива в твердой фазе (ANFO) гранэммитов актуально для удаленных горных предприятий, самостоятельно производящих ВВ и имеющих в распоряжении АС повышенной влажности. В связи с этим ниже представлена оценка влияния соотношения жидкого топлива и влаги в твердой фазе гранэммитов на теплоту их взрывчатого разложения.

Предварительно проведена оценка влияния содержания жидкого топлива и влаги в ANFO на возможность осуществления в них самоподдерживающейся реакции.

Реакция взрывчатого разложения смеси аммиачной селитры и жидкого нефтепродукта является многоэтапной [13]. На начальном этапе (температура продуктов реакции не превышает 360°C) АС распадается согласно уравнения



Одновременно происходит испарение влаги и жидкого топлива.

В качестве жидкого нефтепродукта рассматривается дизельное топливо, имеющее относительную плотность при температуре 20°C $\rho_4^{20} = 0,83$ и температуру самовоспламенения $t_{\text{с/в}} = 330^\circ\text{C}$ (марка «А», ГОСТ 305-2013). Для этого горючего необходимые для дальнейших расчетов значения (зависимости) физико-химических параметров можно принять по данным [14]:

относительная плотность при 15,6°C (60°F) $\rho_{15}^{15} = 0,8343$;

молярная масса $\mu = 181$ г/моль (хим.формула $\text{C}_{13}\text{H}_{25}$);

средняя молярная температура кипения – $t_{\text{ср.мол.}} = 227^\circ\text{C}$;

характеризующий фактор – $K = 11,57$;

теплоемкость жидкого топлива при температуре $t^\circ\text{C}$:

$$C_{\text{ж}}^{\text{мол}}(t) = 0,07998 + 1,7980 \cdot 10^{-4} t, \text{ ккал/}(\text{моль} \cdot \text{град});$$

теплоемкость паров топлива при температуре $t^{\circ}\text{C}$:

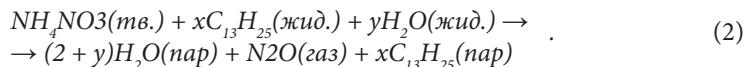
$$C_{\text{пар}}^{\text{мол}}(t) = 0,0604 + 1,7980 \cdot 10^{-4} t, \text{ ккал/моль}^{\circ}\text{град};$$

теплота испарения топлива, $Q_{\text{исп.}} = 11,24, \text{ ккал/моль}$;

теплота образования $C_{13}H_{25}$ (вычислялась по закону Гесса, при низшей теплоте сгорания дизтоплива – 10180 ккал/кг) – 101,9, ккал/моль.

Для возникновения самоподдерживающейся реакции взрывчатого разложения ANFO в присутствии воды необходимо, чтобы теплота реакции разложения АС на начальном этапе была достаточной для разогрева продуктов разложения селитры, паров воды и паров дизтоплива до температуры самовоспламенения этих паров. После их вспышки взаимодействие паров дизтоплива с сильно реакционной закисью азота будет происходить во взрывном режиме.

Уравнение физико-химических процессов на начальном этапе взрывной реакции.



При разложении 1 моля АС по реакции (2) выделяется теплота

$$\Delta Q = 10,326 - Q_*x - 9,908y, \text{ ккал}, \quad (3)$$

где Q_* – мольная теплота нагрева (начальная температура дизтоплива – $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$; конечная температура паров дизтоплива $t_k = t_{\text{с/в}} = 330^{\circ}\text{C}$) и испарения дизтоплива:

$$Q_* = \frac{C_{\text{жс}}^{\text{мол}}(t_n = 20^{\circ}) + C_{\text{жс}}^{\text{мол}}(t_{\text{ср.мол}})}{2} (t_{\text{ср.мол.}} - t_n) + Q_{\text{исп.}} +$$

$$+ \frac{C_{\text{пар}}^{\text{мол}}(t_{\text{ср.мол.}}) + C_{\text{пар}}^{\text{мол}}(t_{\text{с/в}} - t_{\text{ср.мол.}})}{2} (t_{\text{с/в}} - t_{\text{ср.мол.}}) \quad (4)$$

Теплоемкость продуктов реакции (2) при разложении 1 моля NH_4NO_3

$$C_{\Sigma} = xC_{\text{пар}}^{\text{мол}}(t_{\text{с/в}}) + C_{\text{N}_2\text{O}}(t_{\text{с/в}}) + (2 + y)C_{\text{H}_2\text{O}}(t_{\text{с/в}}), \text{ (ккал/град)}. \quad (5)$$

где $C_{\text{N}_2\text{O}}(t_{\text{с/в}})$, $C_{\text{H}_2\text{O}}(t_{\text{с/в}})$ – мольные теплоемкости закиси азота (N_2O) и паров воды (H_2O) при температуре самовоспламенения паров дизтоплива (ДТ) (рассчитываются по теории Дебая-Эйнштейна [15]).

На основании (5) и данных о мольной теплоемкости продуктов реакции (2) при $t_{\text{с/в}} = 330^{\circ}\text{C}$

$$C_{\Sigma} = R(11,5681 + 60,27x + 3,3665y), \quad (6)$$

где $R = 0,0019865 \text{ ккал/моль}^{\circ}\text{град}$ – универсальная газовая постоянная.

Если теплоты реакции разложения АС на начальном этапе будет достаточно для разогрева продуктов разложения селитры, паров воды и паров ДТ до температуры самовоспламенения этих паров, то выполняется неравенство

$$t_n + \frac{\Delta Q}{C_\Sigma} > t_{c/6}. \quad (7)$$

Массовую долю ДТ (f) в смеси с АС (без учета влаги) и влажность АС (w) можно получить на основании (2)

$$f = \frac{\mu_X}{\mu_X + \mu_{AC}} \quad \text{и} \quad w = \frac{\mu_{H_2O} y}{\mu_{H_2O} y + \mu_{AC}}, \quad (8)$$

где μ_{AC} , μ_{H_2O} – молекулярная масса АС и воды.

Из формул (3), (4), (6)-(8) получается следующее ограничение на величины массовой долю ДТ и влаги в АС, при которых теплоты реакции разложения АС на начальном этапе будет достаточно для разогрева продуктов разложения селитры, паров воды и паров топлива до температуры самовоспламенения этих паров

$$\frac{f}{1-f} + 1,5 \frac{w}{1-w} < 0,09. \quad (9)$$

Из (9) вытекают следующие ограничения на максимальные значения параметров f и w :

$$f_{\max} < 0,083 \quad \text{и} \quad w_{\max} < 0,056.$$

Такие ограничения соответствуют экспериментальным данным для ANFO, приведенным в работах [10, 12, 16], что подтверждает корректность предположения о необходимом условии осуществления самоподдерживающейся реакции взрывчатого разложения ANFO.

Если ANFO входит в состав гранэмита, то ограничения на допустимые значения параметров f и w будут менее жесткими. Это связано с тем, что вещества, входящие в ANFO, разогреваются перед вступлением в реакцию под действием ударного сжатия со стороны продуктов детонации эмульсионной фазы гранэмита.

Условие (7) (достаточности теплоты реакции разложения АС на начальном этапе для разогрева ее продуктов, паров воды и паров ДТ до температуры самовоспламенения этих паров), в этом случае запишется в виде

$$t_n + \frac{\Delta Q}{C_\Sigma} > t_{c/6} - \Delta t_*, \quad (10)$$

где Δt_* – увеличение температуры вещества ANFO при ударном сжатии под действием продуктов детонации эмульсионной фазы гранэмита.

Согласно [9, 17]

$$\Delta t_* \cong \frac{P_{em}}{2C_{gr}\rho_{gr}} \left(\left(1 + \frac{nP_{em}}{\rho_{gr}v_{gr}^2} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right), \quad (11)$$

где P_{em} – детонационное давление эмульсионной фазы гранэмита;
 $\rho_{gr}, C_{gr}, v_{gr}$ – начальная плотность, удельная теплоемкость гранэмита и скорость звука в нем, соответственно; n – показатель Тэта в законе сжимаемости гранэмита.

При обозначении величины массовой доли твердой фазы в гранэмите через β получаем формулу.

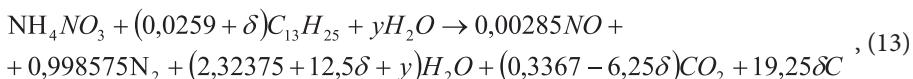
для оценочных расчетов

$$P_{em} \cong \frac{(1-\beta)\rho_{gr}D(\beta)^2}{k+1}, \quad \text{а} \quad D(\beta) = D_{em} - (D_{em} - D_{ANFO})\beta, \quad (12)$$

где – скорость детонации гранэмита при величине массовой доли твердой фазы, равной β ; D_{em}, D_{ANFO} – скорость детонации эмульсионной фазы и ANFO, соответственно. Значения других параметров принимается равными $\rho_{gr} = 1,35 \text{ г/см}^3$; $C_{gr} = 0,45 \text{ ккал/(кг*град)}$; $v_{gr} = 2300 \text{ м/с}$.

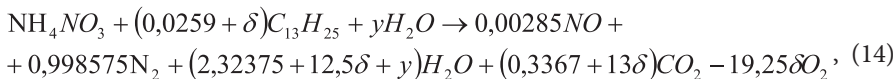
Для этих условий реакции взрывчатого разложения ANFO запишутся в следующем виде

А). При избытке топлива –



где $0 \leq \delta \leq 0,053872$.

В). При недостатке топлива –



где $-0,0259 \leq \delta \leq 0$.

Случай $\delta = 0$ соответствует стехиометрическому соотношению.

$$\text{Обозначая } F = \frac{f}{1-f} \quad \text{и} \quad W = \frac{w}{1-w}, \quad (15)$$

Получаем из уравнений (13), (14):

А). Теплота разложения ANFO при избытке топлива равна

$$Q_{\text{избыт.}} = 963,5 \cdot \frac{1 + 0,211F - 0,571W}{1 + F + W}; \quad (16)$$

В). Теплота разложения ANFO при недостатке топлива равна

$$Q_{\text{недост.}} = 377,7 \cdot \frac{1 + 27,01F - 1,458W}{1 + F + W} \quad (17)$$

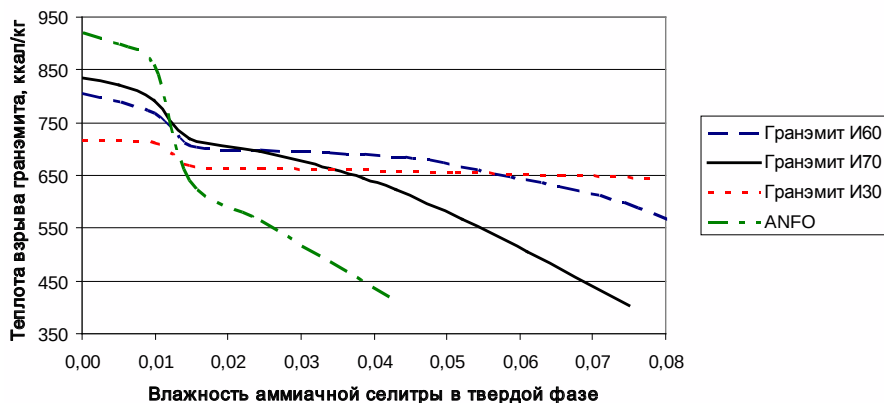


Рис.1. Зависимость теплоты взрыва гранэммита от влажности аммиачной селитры в твердой фазе при различных значениях β .

На основании расчетов по формулам (10) – (17) построены графики изменения теплоты взрыва гранэммита (рис. 1) и массовой доли топливной фазы в твердой фазе (рис. 2) в зависимости от влажности аммиачной селитры при различных значениях β . Теплота взрыва эмульсионной фазы принималась равной 650 ккал/кг.

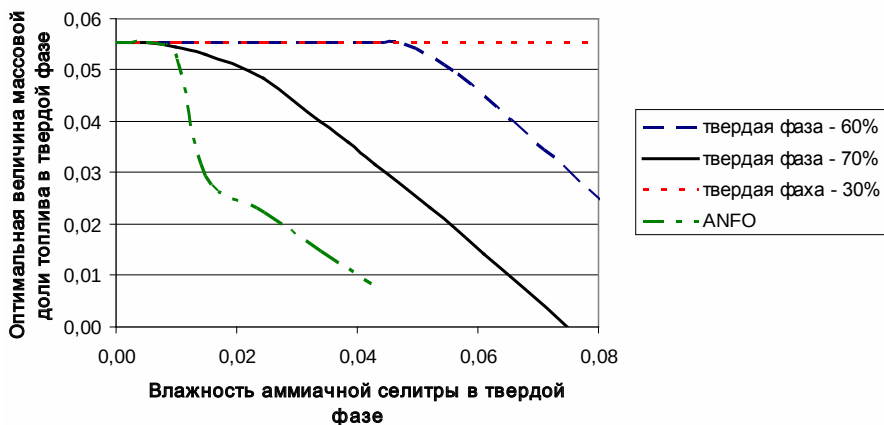


Рис.2. Зависимость оптимального значения массовой доли топливной фазы в твердой фазе от влажности аммиачной селитры при различных значениях β .

ВЫВОДЫ:

1. Самоподдерживающаяся реакция взрывчатого разложения ANFO в присутствии воды возможна, если теплоты реакции разложения аммиачной селитры на начальном этапе достаточно для разогрева продуктов разложения селитры, паров воды и паров дизтоплива до температуры самовоспламенения этих паров.
2. Получено критериальное соотношение между влажностью ANFO и массовой долей топливной фазы, при которой возможно самоподдерживающееся взрывчатое разложение гранэмита.
3. Влажность аммиачной селитры в твердой фазе оказывает существенное влияние на величину тепловыделения гранэмита с содержанием сухой фазы (в виде ANFO) 70% и более.
4. Влажность аммиачной селитры в твердой фазе практически не оказывает влияние на величину тепловыделения гранэмита с содержанием сухой фазы (в виде ANFO) 30% и менее.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колганов Е.В., Соснин В.А. Эмульсионные промышленные взрывчатые вещества. 1-я книга (Составы и свойства). Дзержинск Нижегородской области, изд. ГосНИИ «Кристалл», 2009. 592с.
2. Колганов Е.В., Соснин В.А. Эмульсионные промышленные взрывчатые вещества. 2-я книга (Технология и безопасность). Дзержинск Нижегородской области, изд. ГосНИИ «Кристалл», 2009. 336с.
3. Результаты приемочных испытаний гранэмита марки И-50 в условиях карьеров ОАО «Ураласбест» / Андреев А.С., Дресвянников А.П., Котяшев А.А. и др. // Известия вузов. Горный журнал, 1999, №9-10, с. 18-22.
4. Бондаренко И.В., Хон В.И., Никитин Р.Я. Особенности применения эмульсионных ВВ в условиях кимберлитовых карьеров АК «АЛРОСА» // Технология и безопасность взрывных работ: материалы научно-технической конференции «Развитие ресурсосберегающих технологий во взрывном деле», прошедшей в рамках IV Уральского горнопромышленного форума 12-14 октября 2011 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012, с.155-162.
5. Применение эмульсионных ВВ – гранэмита на карьере Михайловского ГОКа / Бруев В.П., Олименко В.М., Королев И.И., Комаров Б.Е. // Горный журнал, 2002, № 11-12, с.52-55, 110.
6. Синицын В.А., Котяшов В.С. Эффективность применения взрывчатых веществ на основе обратных эмульсий на карьерах ОАО Качканарского ГОКа // Горн.инфор.-аналит. Бюлл. (ГИАБ), 2009, №12, С.361-364.
7. Фокин В.А. Обоснование геометрических параметров удлиненной шашки-детонатора для обратного инициирования скважинных зарядов газифицированных эмульсионных взрывчатых веществ // Изв. ВУЗов. Горный журнал, 2008, №3, с.49-54.

8. Кутузов Б.Н., Горинов С.А. Инициирование эмульсионных ВВ и гранэммитов промежуточными детонаторами // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2011, №7.- Препринт, С.5-19.
9. Горинов С.А. Теоретическая оценка детонационных параметров гранэммитов // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2010, №8, С.121-130.
10. Демидюк Г.П., Бугаевский А.Н. Средства механизации и технология взрывных работ с применением гранулированных ВВ. М.: Недра, 1975. 312с.
11. Друкованый М.Ф. Методы управления взрывом на карьерах. М.: Недра, 1973. 416с.
12. Вовк А.А. Справочник взрывника. Киев, Гостехлитиздат, 1963. 526с.
13. Теория горения и взрыва. Кукин П.П., Юшин В.В., Емельянов С.Г. и др. М.: Юрайт, 2014. 435с.
14. Розман Б.Ю. О термической стойкости аммиачной селитры. – Л.: ЛИИТВ, 1957.- 131с.
15. Моисеев А.В. Расчетные методы определения физико-химических свойств углеводородных систем, нефтей и нефтепродуктов: Примеры и задачи: учеб. пособие. Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КНАГТУ», 2010. 179с.
16. Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Романов А.И. Промышленные взрывчатые вещества. М.: Недра, 1988. 358 с.
17. Баум Ф.А., Станюкович К.П., Шехтер Б.И. Физика взрыва.- М.:Физматгиз, 1959. 800с.

ОЦЕНКА ДЕТОНАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭМУЛЬСИОННОГО ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА, ПОЛУЧЕННОГО СПОСОБОМ ХИМИЧЕСКОЙ СЕНСИБИЛИЗАЦИИ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ВВЕДЕНИЕМ В СОСТАВ ВОЛОКОН ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТА

*Н.С. Матухно, А.С. Флягин, В.Г. Шеменев,
А.П. Русских, И.А. Леонтьева*

В настоящее время открытый способ добычи руд и минерального сырья остается наиболее экономичным и безопасным. От взрывных работ непосредственно зависят экономические показатели предприятия. Важным направлением повышения эффективности взрывных работ на горных предприятиях является внедрение прогрессивных технологий разрушения горных пород, основанных на применении эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ). При этом основными направлениями взрывных работ являются: полная механизация всех процессов изготовления ВВ и заряжания ими скважин; повышение уровня технологической безопасности производственных процессов непосредственно на местах потребления; отсутствие перевозок и хранения опасных грузов.

Наиболее полно этим направлениям соответствуют эмульсионные ВВ, получившие широкое распространение как в мировой практике, так и в нашей стране.

Опыт применения ЭВВ показал их неоспоримые преимущества перед другими промышленными взрывчатыми веществами (ПВВ). Одним из их преимуществ является возможность создания комбинированных смесевых составов на основе матричной эмульсии, утилизации нефтепродуктов и введения различных добавок, как для повышения, так и для снижения детонационных характеристик. Например, для контурного взрывания или для снижения некондиционных фракций при производстве щебня целесообразно снизить скорость детонации (СД).

В данной статье рассматривается возможность использования в составе ЭВВ хризотилового волокна, добываемого на карьерах ОАО «Ураласбест», для регулирования детонационных характеристик ЭВВ.

Матухно Никита Сергеевич – стажер-исследователь (аспирант), ИГД УрО РАН (г. Екатеринбург), e-mail: nikita.matuhno@mail.ru;

Флягин Александр Сергеевич – младший научный сотрудник (аспирант) ИГД УрО РАН, e-mail: flyagingdr@mail.ru;

Шеменев Валерий Геннадьевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией разрушения горных пород ИГД УрО РАН, e-mail: rgr@igduran.ru;

Русских Александр Петрович – директор предприятия Промтехвзрыв, Промтехвзрыв ОАО «Ураласбест» (г. Асбест), e-mail: rusap@uralasbest.ru;

Леонтьева Инна Алексеевна – зам.начальника цеха по изготовлению ЭВВ предприятия «Промтехвзрыв», Промтехвзрыв ОАО «Ураласбест» (г. Асбест), e-mail: innaleonteva@yandex.ru.

Промышленное ЭВВ 1 класса порэмита 1А представляет собой эмульсию раствора аммиачной селитры в индустриальном масле, сенсibilизированную газогенерирующей добавкой (ГГД) и предназначено для механизированного заряжания скважин диаметром не менее 105 мм с любой обводненностью во всех климатических районах при взрывании крепких и средней крепости пород, не содержащих сульфидные руды. Эмульсию порэмита 1А получают при смешении раствора аммиачной селитры с топливным раствором как смесь индустриального масла с эмульгатором на стационарном пункте приготовления эмульсий. Получение самого порэмита 1А производится путём смешения эмульсии порэмита 1А и ГГД в смесительно-зарядной машине при зарядании скважин. Плотность порэмита 1А должна находиться в пределах 1,15–1,28 т/м³. Порэмита 1А недостаточно чувствителен к первичным средствам инициирования (СИ) и требует промежуточного детонатора, в качестве которого следует использовать одну – две шашки типа Т-400Г, БШД-800У и др., инициируемых детонирующим шнуром ДШЭ-12 или неэлектрическими системами инициирования [1].

Выбор способа сенсibilизации ЭВВ зависит от условий его получения и применения. При этом необходимым условием стабильного детонационного процесса является равномерное распределение газовых включений по всему объёму заряда. Для получения ЭВВ с длительным сроком хранения в качестве сенсibilизаторов применяют твёрдые пористые материалы, в которых газ заключен в непроницаемую оболочку. Добавление микросфер из стекла или других нерастворимых материалов не нарушает водоустойчивость эмульсии и обычно не вредит стабильности детонации. Возможность создания ЭВВ с низкой СД за счет введения микросфер перспективно для создания предохранительных ВВ и составов для щадящего взрыва, например для добычи драгоценных камней. Однако стоимость микросфер очень высока и составляет от 7000 до 12000 долл./т, что приводит к значительному удорожанию ЭВВ. Кроме того, увеличение количества микросфер приводит к снижению детонационных характеристик ЭВВ [2].

Предприятием «Промтехвзрыв» ОАО «Ураласбест» предложен способ комбинированной сенсibilизации ЭВВ с одновременным использованием химического способа газификации и добавления в состав твердых пористых материалов. В качестве твердого пористого материала применены волокна хризотил-асбеста, которые добавлялись в состав ЭВВ порэмита 1А, сенсibilизированного химическим способом.

ОАО «Ураласбест» производит хризотил-асбест различных марок (групп) от 0 до 7. При его обогащении образуются отходы производства – фильтрат рукавных фильтров обогатительной фабрики, который применяется в качестве пористой добавки к ЭВВ. Фотографии отходов хризотил-асбеста показаны на рис. 1.



а) отходы хризотил-асбеста

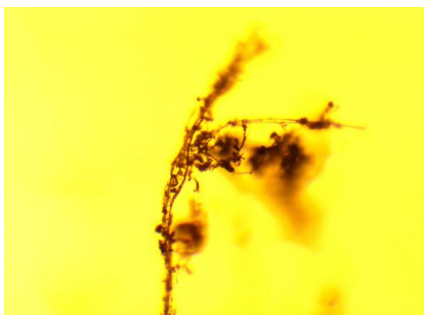
б) волокно хризотил-асбеста
в 100 кратном увеличении

Рис. 1 – Отходы хризотил-асбеста

Хризотил-асбест – волокнистая разновидность водного силиката магния – серпентина, состав которого отвечает формуле $Mg_6[Si_2O_5](OH)_8$ или $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ [3].

По данным электронно-микроскопического изучения, элементарные волокна (фибриллы) хризотила представляют собой весьма протяженные трубки с отношением к диаметру более 100. Для них характерно наличие в центральной части осевого просвета (внутреннего канала). Наружный диаметр фибрилл изменяется в пределах 15–65 нм, чаще всего составляя 30–40 нм. Преобладающий диаметр внутреннего канала 5–7 нм [4].

Из свойств хризотил-асбеста представляет интерес устойчивость к механическим и химическим воздействиям, и то, что его волокна, в зависимости от сорта, нанотрубки имеют различную длину.

По сути, эти нанотрубки могут являться микросферами, хотя их геометрия и размеры, почти на порядок отличаются от микросфер тех, которые применяются в настоящее время производителями ЭВВ. Кроме того, хризотил-асбест не является абразивным материалом и при смешивании с жидкостями образует пластичную массу, которая легко перекачивается винтовыми насосами смесительно-зарядных машин без их дополнительного износа или повреждения. Но идея эффективного использования нанотрубок хризотил-асбеста для сенсibilизации ЭВВ требует подтверждения или опровержения.

Необходимо отметить, что именно подбор процентного содержания волокон хризотил-асбеста по отношению к ЭВВ будет являться определяющим для получения тех или иных результатов испытаний. Ранее рассматривалась возможность использования волокон хризотил-асбеста в качестве добавки в уже газифицированное химическим способом ЭВВ. Технологически вернее и целесообразнее следовало вводить добавки на этапе подготовки эмульсионной матрицы: или на фазе приготовления горячих компонентов, или в процессе

добавления в уже готовую матрицу с дополнительным перемешиванием, а потом проводить газификацию комбинированного состава уже на местах работ. Но для проведения экспериментов принято более простое ручное перемешивание компонентов в подходящих емкостях непосредственно на полигоне.

Испытания проводились в два этапа:

На первом этапе – определялись количество и способ введения добавки в ЭВВ. Внешний вид, электрическая емкость, плотность, водоустойчивость, исследование структуры под электронным микроскопом проводилось в лабораторных условиях.

Второй этап – экспериментальный. В условиях полигона определены детонационные характеристики ЭВВ с различным процентом добавки волокон хризотил-асбеста, измерена плотность, СД и работоспособность по воронке выброса.

Лабораторные испытания по исследованию возможности введения волокон хризотила в эмульсию порэмита проведены в два этапа: выбор оптимального места введения; исследование свойств полученных образцов.

Изготовлены три образца. Образец № 1 – добавление сухого хризотил-асбеста в смесь индустриального масла с эмульгатором в количестве 1 % по массе сверх 100 %. После чего был изготовлен контрольный образец эмульсии порэмита 1А. Образец № 2 – добавление сухого хризотил-асбеста в смесь индустриального масла с эмульгатором в количестве 2 % по массе сверх 100 %. После чего также был изготовлен образец эмульсии порэмита 1А. Образец № 3 – был изготовлен следующим образом: в готовую эмульсию порэмита 1А механическим способом был введен и равномерно распределен 1 % сухого хризотил-асбеста.

Данные образцы были исследованы по показателям на внешний вид, электрическую емкость и плотность. Результаты исследований приведены в табл. 1.

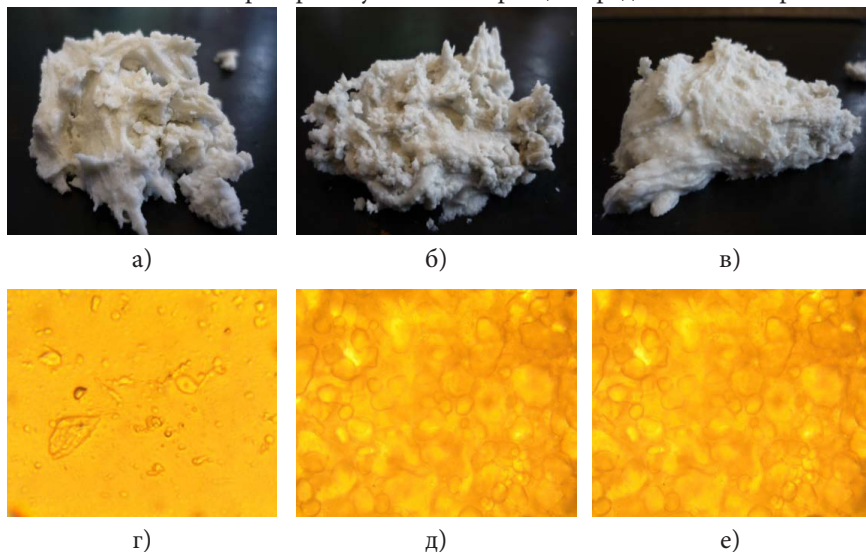
Анализ результатов показал, что добавка сухого хризотил-асбеста, независимо от способа введения, негативно влияет на качество готовой продукции. Можно предположить, что это происходит вследствие адсорбционных процессов между сухим хризотил-асбестом и компонентами эмульсии порэмита 1А.

Таблица 1

Исследование свойств полученных образцов

№ образца	Внешний вид	Электрическая емкость, пФ	Плотность, кг/м ³	Примечание
1	2	3	4	5
1	Вещество сероватого цвета неоднородной структуры с нарушенной пластичностью	214	1 320	Через 5 минут после изготовления электрическая емкость более 1000 пФ
2		Более 1 000	1 330	
3		Более 1 000	1 330	

Все исследуемые образцы дополнительно были подвергнуты микроскопическому анализу на цифровом микроскопе Levenhuk D-670T. Фотографии изготовленных в лабораторных условиях образцов представлены на рис. 2.



а) образец № 1; б) образец № 2; в) образец № 3; г) образец № 1 при 40-кратном увеличении; д) образец № 2 при 40-кратном увеличении; е) образец № 3 при 40-кратном увеличении.

Рис. 2 – Фотографии образцов эмульсии порэмита 1А, изготовленных в лабораторных условиях

Хризотил-асбест из-за развитой внутренней поверхности (поверхности пор) и интенсивности силового поля обладает высокой адсорбционной способностью, поэтому содержание в нем адсорбционной воды относительно велико. В результате адсорбционных процессов между хризотил-асбестом и водной фазой эмульсии порэмита 1А нарушаются связи, удерживающие нефтепродукты на поверхности капле окислителя. Из-за этого нарушается структура эмульсии порэмита 1А, о чем свидетельствует значительное повышение электрической емкости.

В распушенном состоянии хризотил-асбест способен удерживать на поверхности волокон и в промежутках между ними значительное количество раствора окислителя, поэтому эмульсия порэмита 1А теряет свою пластичность и начинает твердеть.

Провести химическую газификацию образцов № 1-3 не удалось по причине нарушения структуры эмульсии порэмита 1А, приведшей к затвердеванию полученных образцов.

Учитывая высокую адсорбционную способность хризотил-асбеста, было сделано предположение, что его предварительное смачивание позволит избежать адсорбционных процессов между хризотил-асбестом и водной фазой эмульсии порэмита 1А, так как поры уже наполнены водой.

Для подтверждения данного предположения были изготовлены два образца состава из эмульсии порэмита 1А.

Образец № 4 изготовлен путем добавления предварительно намоченного хризотил-асбеста в смесь индустриального масла с эмульгатором в количестве 1 % по массе сверх 100 %. После чего был изготовлен контрольный образец эмульсии порэмита 1А.

Образец № 5 изготовлен следующим образом: в готовую эмульсию порэмита 1А механическим способом введен и равномерно распределен 1 % предварительно намоченного хризотил-асбеста.

Образцы № 4 и № 5 также были исследованы по показателям внешний вид, электрическая емкость и плотность (табл. 2).

Таблица 2

Исследование свойств полученных образцов

№ образца	Внешний вид	Электрическая емкость, пФ		Плотность, кг/м ³	
		Сразу после изготовления	Через 1 час после изготовления	Сразу после изготовления	Через 1 час после изготовления
1	2	3	4	5	6
4	Пластичное вещество сероватого цвета однородной структуры	160	111	1 330	1 350
5	Пластичное вещество светло-коричневого цвета с вкраплениями хризотила	85	96	1 320	1 330*

* После введения хризотила

Результаты этих исследований показали, что смоченный хризотил не нарушает структуру эмульсии. Вместе с тем снижение электрической емкости в образце № 4 может свидетельствовать об образовании защитного слоя из волокон хризотила на поверхности капель окислителя.

Через 1 час после изготовления образца № 4 наблюдалось его затвердение и повышение плотности с 1330 кг/м³ до 1350 кг/м³.

Образец № 5 оставался стабильным на всем протяжении испытаний.

Образцы № 4 и № 5 были подвергнуты химической газификации путем

введения в них механическим способом газогенерирующей добавки (10 % раствора нитрита натрия) в количестве 1 % сверх 100 %.

Результаты исследований этих образцов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Исследование химической газификации

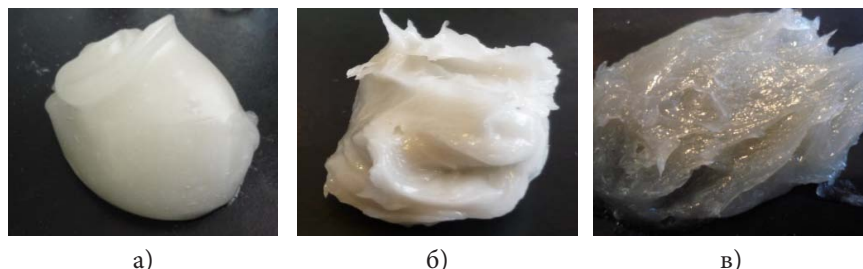
№ образца	Внешний вид	Наличие газификации	Плотность порэмита, кг/м ³
1	2	3	4
4	Пластичное вещество сероватого цвета	Да	1100
5	Пластичное вещество светло-коричневого цвета с включениями волокон хризотила	Да	1100

Фотографии образцов № 4 и № 5 в сравнении с контрольным представлены на рис. 3.

Учитывая положительные результаты лабораторных исследований образцов № 4 и № 5, представляет интерес дальнейшее исследование данных составов на детонационную способность и другие взрывчатые характеристики.

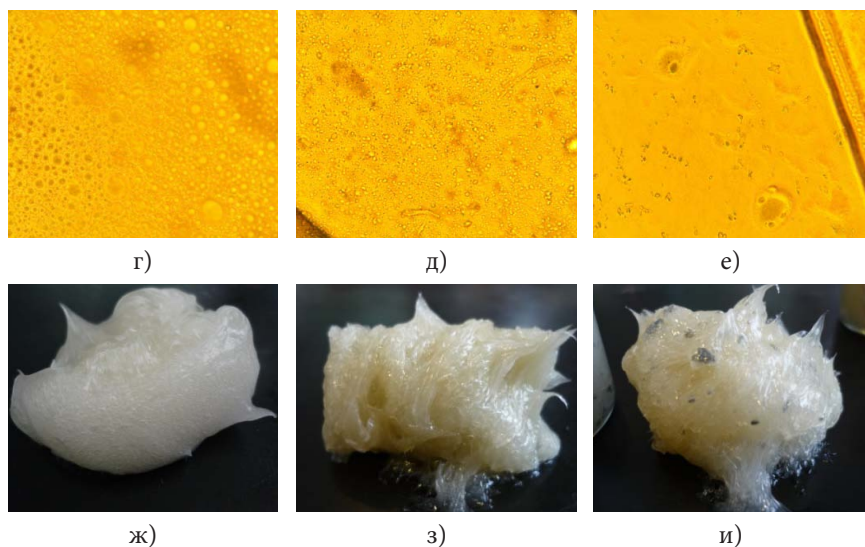
В июне 2015 г. сотрудниками предприятий «Промтехвзрыв» ОАО «Ураласбест», «ИГД УрО РАН», «ООО УралТехноАнкер» на полигоне «Порэмит» проведены испытания ЭВВ с добавками различного процентного содержания хризотил-асбеста. Целью данных экспериментов являлось определение детонационных характеристик.

Для определения СД использовалась методика ИГД УрО РАН: «Методика измерений СД ВВ реостатным методом, ускорения сейсмических колебаний и давления на фронте ударной воздушной волны с использованием измерителя скорости детонации «DATA TRAP II», основанная на методе “НИСД” – непрерывного измерения скорости детонации [5 – 9].



а) контрольный образец; б) образец № 4; в) образец № 5;

Рис. 3 – Фотографии образцов эмульсии порэмита 1А в сравнении с контрольным образцом



г) контрольный образец при 40-кратном увеличении; д) образец № 4 при 40-кратном увеличении; е) образец № 5 при 40-кратном увеличении; ж) порэммит 1А, изготовленный из контрольного образца; з) порэммит 1А, изготовленный из образца № 4; и) порэммит 1А, изготовленный из образца № 5.

Рис. 3 – Фотографии образцов эмульсии порэммита 1А в сравнении с контрольным образцом

Подготовлены 17 картонных гильз диаметром $\varnothing$ 100 мм, толщиной стенки 7 мм и длиной $L = 1000$ мм, запаиваемые в нижней части при помощи монтажной строительной пены с одновременным креплением устойчивого основания для их установки в вертикальное положение в условиях полигона. В них просверлено по 2 отверстия в верхней и нижней части гильзы (строго друг под другом), через которые протянут кабель-датчик (VOD PROCABLE «Зеленый»), с сопротивлением 10,8 Ом/м. Верхний конец кабеля зачищен и замкнут сердечником на оплетку, после чего заизолирован и закреплен скотчем на гильзе. Нижний конец кабель-датчика также зачищен и подготовлен к последующему соединению с коаксиальным кабелем РК-75, подключенным к измерительному прибору «Data Trap II™».

В картонные гильзы заряжали подготовленные образцы ЭВВ. Сверху устанавливался промежуточный детонатор (шашка БШД-800У) с введенным капсюлем неэлектрической системы инициирования ИСКРА-С. Иницирование производилось при помощи электродетонатора ЭД-1-8Т (рис. 4). В процессе детонации регистратором данных «Data Trap II™» фиксировалось изменение сопротивления датчика по колонке заряда.

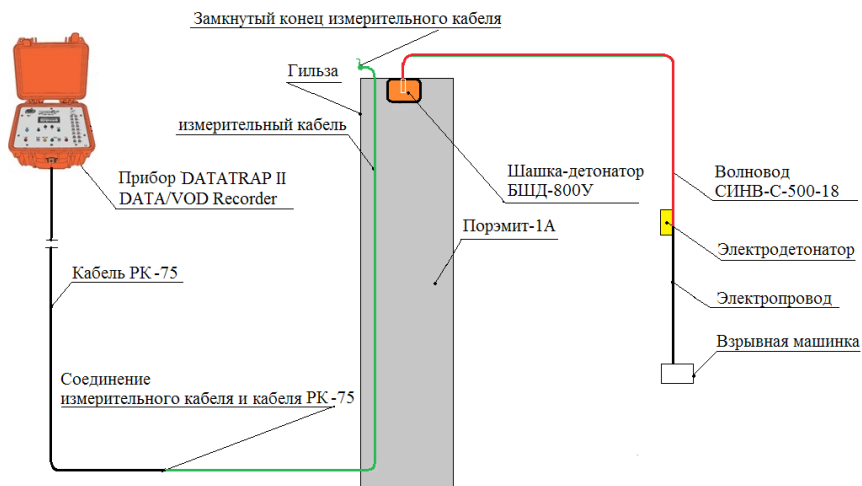


Рис. 4 – схема расположения измерительного кабеля при измерении СД испытуемых образцов в гильзе

Испытаниям подверглись 6 составов ЭВВ с добавками, по три образца каждый. Первый образец использовался как эталонный, такой состав используют для ведения взрывных работ по добыче хризотил-асбеста на карьере ОАО «Ураласбест». На основании проведенных замеров СД, плотности образцов, визуального осмотра полноты детонации, радиуса и глубины воронки была разработана методика измерения фактической СД, позволяющей определить детонационные характеристики ЭВВ. Полнота детонации испытуемых ЭВВ определялась визуально – по наличию остатков гильзы и взрывчатого вещества. Радиус и глубина воронки определялись измерительной линейкой. Результаты испытаний всех 17 гильз представлены в табл. 4.

По результатам испытаний образцов ЭВВ установлено:

1. Образцы № 3,4,6, в составах которых находились волокна хризотил-асбеста с ГГД, имеет на 5 % выше СД, но ниже на 15 % и 13 % показателя радиуса и глубины воронки, чем у образца № 1, что указывает на снижение работоспособности ЭВВ.

2. Образец № 2, в составе которого не использовалась ГГД, а вводились волокна хризотил-асбеста, смоченного 1,5 % воды, не сдетонировал. Это позволяет сделать вывод, что его добавка не может служить в качестве сенситизатора.

3. Образец № 5, в составе которого находились микросферы, показал на 22 % выше СД, но ниже на 30 % и 5 % показателя радиуса и глубины воронки, чем у образца № 1, что указывает на увеличение брызгантности (дробящего эффекта) и уменьшение работоспособности ЭВВ.

Таблица 4

Результаты второго экспериментального этапа

№ образца	Состав образца	№ Пробы	Масса ЭВВ Q, кг	Плотность образца, г/см ³	Скорость детонации, м/с	Полнота детонации	Радиус воронки, см	Глубина воронки, см
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Эмульсия порэмита; 1% ГД	1.1	8,8	1.119	—	полная	80	23
		1.2	9,0	1.152	4629	полная	85	24
		1.3	9,5	1.21	4462	полная	100	26
2	Эмульсия порэмита; 1,5% хризотил асбеста 7 сорта, смоченного 1,5% воды	2.1	10,2	1.299	—	не полная отказ: 50 см	—	—
		2.2	10,2	1.305	2796	не полная отказ: 36 см	—	—
		2.3	10,4	1.324	—	не полная отказ: 50 см	—	—
3	Эмульсия порэмита; 1,5% хризотил-асбеста 7 сорта, смешанного с 1,5% индустриального масла И-20А; ГД 1%	3.1	9,5	1.216	—	полная	52	20
		3.2	9,6	1.229	4783	полная	75	22
		3.3	9,7	1.235	—	полная	75	19
4	Эмульсия порэмита; 0,5% хризотил-асбеста 7 сорта, смешанного с 0,5% индустриального масла И-20А; ГД 1%	4.1	9,6	1.229	—	полная	80	21
		4.2	9,8	1.248	4731	полная	80	21
		4.3	9,8	1.243	4709	полная	80	22,5
5	Эмульсия порэмита; микросферы 3М (К-20) из расчёта 2 литра микросфер К-20 на 10 кг эмульсии порэмита	5.1	8,9	1.14	5908	полная	67,6	24,5
		5.2	9,1	1.162	5840	полная	65	22
6	Эмульсия порэмита; 1,5% хризотил-асбеста 7 сорта, обработанного 0,1% раствором КОН; ГД 1%	6.1	9,9	1.261	4981	полная	65	20
		6.2	9,7	1.235	4531	полная	75	20
		6.3	9,8	1.248	4876	полная	80	23

4. Использование ЭВВ, газифицированного химическим способом с добавлением твердого пористого материала (применение в качестве пористой добавки волокон хризотил-асбеста) не улучшает детонационных характеристик ЭВВ по отношению к порэмиту 1А, а в некоторых случаях (образец № 2) – не выполняет функций сенсibilизатора и не обеспечивает необходимого количества «горячих точек» для поддержания фронта детонации.

5. При плотностях, находящихся в рамках технических условий возможен так называемый эффект «балласт десенсибилизации» – обратный процесс сенсibilизации. Применение волокон хризотил-асбеста (как балласта) может позволить регулировать детонационные характеристики ЭВВ на таких направлениях взрывных работ, как щадящее взрывание. Этот эффект возможно использовать при добыче строительного камня и производстве щебня для увеличения выхода товарной продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Эмульгатор полиглицериновый для промышленных взрывчатых веществ*: технические условия ТУ 75 11903-589-92: утв. НИИ «Кристалл» от 14.05.1992/ научно-внедренческая фирма «Хота». – Дзержинск, 1992. – 22 л.
2. *Колганов Е.В., Соснин В.А. Эмульсионные промышленные взрывчатые вещества. Книга 1 (Составы и свойства)*. – Дзержинск, изд-во ГосНИИ «Кристалл», 2009. – 592 с.
3. *Герасименко Н.Н., Джаманбаев К.К., Медетов Н.А.*, Исследование возможности использования хризотилового волокна как наноматериала в виде нанотрубок – г. Алматы: изд-во (НЦНТИ), 2008. -173 с. – (Новости науки Казахстана. – 2008/4).
4. *Золотова К.К., Попова Б.А.* Баженовское месторождение хризотил-асбеста. – Москва, изд-во «Недра», 1985. – 271 с.
5. *Кутуев В.А.* О методах исследования детонационных характеристик ВВ / В.А. Кутуев, П.В. Меньшиков, С.Н. Жариков //Теория и практика взрывного дела: сб. ст. /ИПКОН РАН. – М.: ЗАО МВК по взрывному делу при Академии горных наук. – 2015. С.С. 155 – 165. – (Взрывное дело. – 113/70).
6. *Андреев К.К., Беляев А.Ф.* Теория взрывчатых веществ. М.: Оборонгиз, 1960. – с. 210-212.
7. *Корнилов М.В.* Разрушение горных пород взрывом: конспект лекций / М.В. Корнилов; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008. – с. 56-62.
8. *Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко*. – Изд. 3-е, переработанное. – В 2 т. Т. 1. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 832 с.
9. *Маслов И.Ю., Пупков В.В., Кампель Ф.Б. и др.* Определение фактической скорости детонации и работоспособности новых эмульсионных ВВ с целью выбора рациональной плотности заряжания при взрывоподготовке железных руд // Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ). – 2003. – №5.

ПРИМЕНЕНИЕ РАССРЕДОТОЧЕННЫХ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ В КАРЬЕРАХ ОАО «УРАЛАСБЕСТ»

А.П. Русских, А.А. Котяшев, М.В. Корнилков

Обеспечение качественного дробления горных пород, без существенного увеличения затрат при добыче минерального сырья, возможно путем совершенствования как рецептуры взрывчатых веществ (ВВ), так и технологии взрывного разрушения локальных массивов.

Максимальное использование энергии взрыва на дробление пород на открытых горных разработках достигается при условии оптимального соответствия структуры и прочностных свойств среды, подготовленной к разрушению, с параметрами источника внешнего нагружения [1, 2, 3].

Регулирование энергии возможно изменением удельного расхода ВВ, расположения и параметров активных и пассивных зон в конструкции скважинных зарядов и условий их взаимодействия при групповом взрывании.

Свойства пород и структура локальных массивов варьируются в сравнительно небольших пределах, поэтому повышение эффективности разрушения их взрывным способом осуществляется, в основном, за счёт изменения параметров внешнего разрушающего импульса. В частности, это достигается регулированием взрывного импульса или изменением условий взрывания в зависимости от требуемого качества дробления конкретной среды.

Важным направлением повышения эффективности взрывных работ на горных предприятиях является внедрение прогрессивных технологий разрушения горных пород, основанных на применении ВВ, изготовленных на основе обратных эмульсий. Они являются наиболее универсальными и позволяют менять взрывчатые характеристики в достаточно широких пределах путем изменения компонентного состава и степени аэрации взрывчатой смеси.

Ввиду того, что на большинстве крупных горнодобывающих предприятий России используются малочувствительные водосодержащие ВВ, основное внимание как при проектировании, так и подготовке технологических взрывов уделяется конструкции и системам инициирования скважинных зарядов, контролю параметров продуктов детонации и выбору диаметра скважинных зарядов, обеспечивающих полное завершение реакций взрывчатого превращения.

Наиболее полная передача энергии взрыва окружающей среде может быть достигнута путём перераспределения её в разделённых зарядах по высоте ко-

Русских Александр Петрович – директор предприятия Промтехвзрыв ОАО «Ураласбест» (г. Асбест)

Котяшев Альберт Александрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИГД УРО РАН (г. Екатеринбург)

Корнилков Михаил Викторович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой шахтного строительства УГТУ (г. Екатеринбург).

лонки. Это осуществляется за счёт применения воздушных промежутков, т. е. выбора конструкции зарядов, формируемых с рациональными параметрами пассивных и активных зон. Размеры предопределяются прочностью горных пород и структурой массивов.

В ОАО «Ураласбест» при производстве щебня из скальных пород (перидотитов) возникла проблема значительного переизмельчения. В этой связи, потребовалось изыскание способов, позволяющих увеличить долю кондиционных и снизить долю мелких фракций (0-100 мм). Для решения этой задачи были апробированы методы управления действием взрыва, основанные на перераспределении энергии скважинного заряда, ранее разработанные в ИГД им. А.А. Скочинского применительно к необводнённым массивам [1].

Решение осуществлялось последовательно тремя способами, а именно:

1. Бурением скважин на уступах шарошечными станками с меньшим диаметром долот.
2. Применением в обводнённых массивах рассредоточенных скважинных зарядов с варьируемой величиной активных и пассивных зон. Способ основан на установке в скважине пневматических затворов, позволяющих разделять заряд на любой глубине (рис. 1).

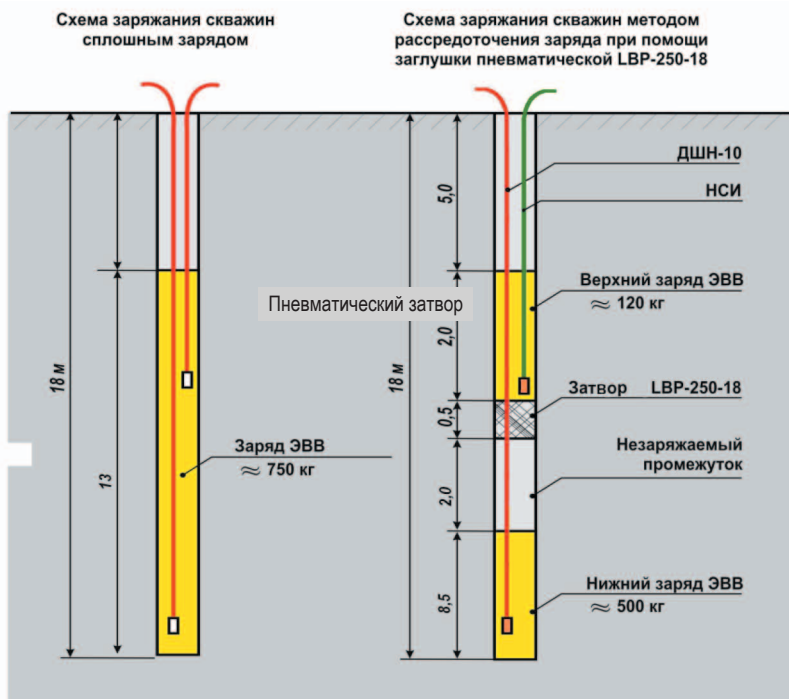


Рис. 1 – Способ установки пневматических затворов

3. Применением в скважинах зарядов на воздушной подушке, а в слабообводнённых массивах – на водяной подушке, создаваемой специальными затворами. Затворы частично (на 50 – 75 %) перекрывают технологический перебур скважин, предусмотренный «Типовым проектом производства буровзрывных работ на карьерах ОАО «Ураласбест» (рис. 2, 3). При этом нижняя часть скважины (в нашем случае 1,5 метра) не подлежит заряданию, но в то же время работоспособность эмульсионных ВВ через незаряженную часть перебура позволяет прорабатывать подошву забоя также качественно, как и при сплошном заряде.

Кроме того, достигается дополнительный эффект, заключающийся в более лучшем сохранении верхней части нижележащего горизонта, что сказывается на качестве бурения первых метров скважины особенно буровыми станками с пневмоударным инструментом.

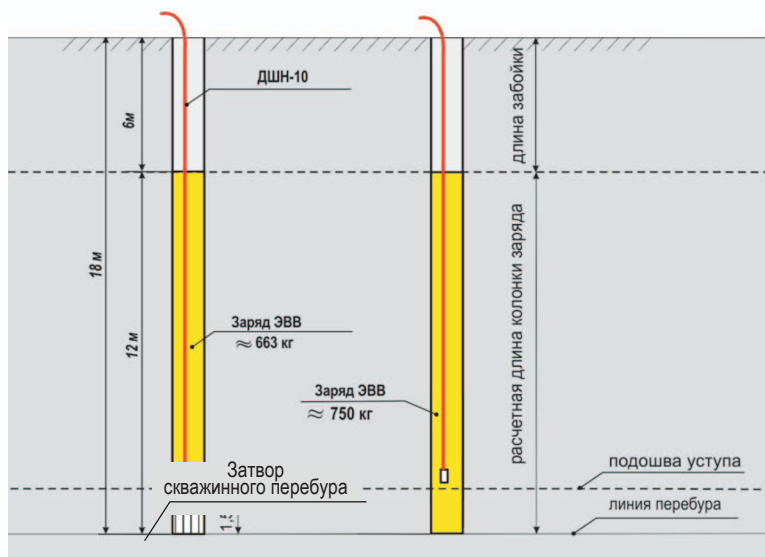


Рис. 2 – Способ установки заглушек скважинных перебуров

Метод рассредоточения заряда не новый, но, как правило, расстояние между нижним и верхним зарядом заполняется инертным материалом (песком или мелким гравием). Недостаток такого способа рассредоточения – рост числа отказавших зарядов из-за попадания в материал рассредоточения крупных фракций породы и передавливания ими ДШ или НСИ. Кроме того, верхняя часть заряда, контактирующая с забоечным материалом, перемешивается с ним, особенно при использовании эмульсионных взрывчатых веществ. В результате ВВ теряет свои свойства. В нашем случае пневматический затвор не контактирует с нижним зарядом и не нарушает целостности

средств инициирования.



Рис. 3 – Устройство (затвор) скважинного перебура

На рис. 4 показана амплитуда варьирования доли мелких фракций во взорванной горной массе, а на рис. 5 и 6 – распределение фракций после апробации вышеуказанных способов.

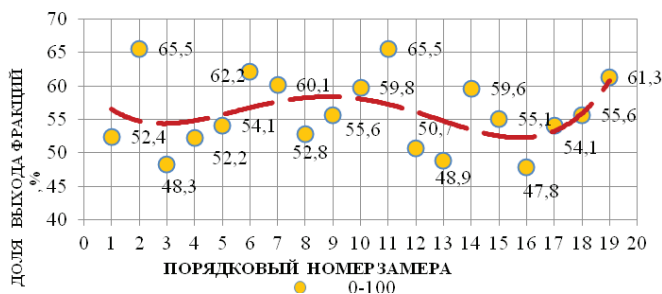


Рис. 4 – Варьирование доли мелких фракций во взорванной горной массе

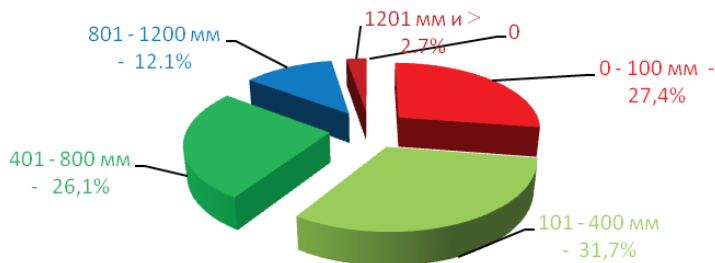


Рис. 5 – Диаграмма распределение взорванной горной массы по фракциям (блок №277, взорван 09.10.2013 г, гор.47 м, сетка 7,0 x 6,0 м, $d_{\text{скв}} = 230$ мм, экскаватор № 283)

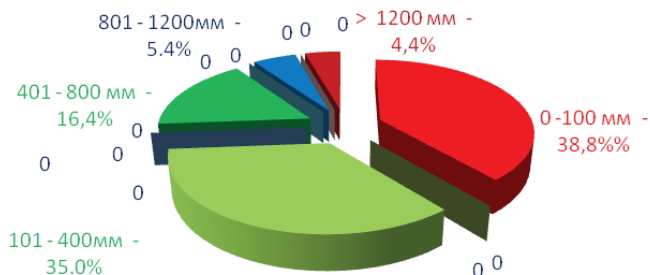


Рис. 6 – Диаграмма распределения взорванной горной массы по фракциям (блоки № 139,168,197,230, гор. 62, 47 м, сетка 6,0 х 5,5 м и 6,0 х 6,0 м, $d_{\text{скв}} = 215,9$ мм, экскаваторы №№ 264 и 283)

Из анализа замеров гранулометрического состава взорванной горной массы в забоях экскаваторов следует, что выход мелких фракций (0 – 100 мм), в результате проведенных опытно-промышленных взрывов с диаметром скважинных зарядов 215,9 мм, в сравнении с базовым вариантом при диаметре 244,5 мм, снизился с 55,9 % до 38,8 %, т.е. на 17,1 %. При этом, выход кондиционных фракций 101 – 400 мм и 401 – 800 мм увеличился, соответственно, на 16,5 % и 4,8 %. Выход некондиционных фракций 801 – 1200 мм и более 1200 мм снизился на 1,5 % и 2,7 %.

Фактический расход ЭВВ, при применении рассредоточенных зарядов (от 15 до 70 % от общего числа взорванных скважин), в сравнении с расчётным в 1,15 – 1,4 раза меньше, чем при сплошных зарядах.

За период проведения опытно-промышленных взрывов экономия взрывчатых веществ составила 160 тонн или в денежном выражении 2,5 млн рублей при необходимой степени дробления пород

Таким образом, снижение диаметра скважин с 244,5 мм (базовый вариант) до 230 мм и 215,9 мм (опытные варианты) и применение рассредоточенных скважинных зарядов для разрушения локальных массивов, крепостью XI категории по шкале проф. М. М. Протодяконов, сложенных особо трудно взрывающимися перидотитами, позволило решить задачу увеличения доли кондиционных фракций во взорванной горной массе и в целом снизить затраты на подготовку горной массы к выемке и транспортированию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мельников Н.В. Энергия взрыва и конструкция заряда./ Н.В. Мельников, Л.Н. Марченко.М.: Недра, 1964. – 146 с.
2. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах, /В.Н. Мосинец . – М : Недра, 1976. 271 с.
3. Открытые горные работы. Сокращённый перевод с английского. - М. Недра, 1971.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКТ ОБОРУДОВАНИЯ DATATRAP II DATA/VOD RECORDER ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ И ХАРАКТЕРИСТИК ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ, ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВА И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

П.В. Меньшиков, В.Г. Шеменев, В.А. Сеницын

Скорости распространения быстропотекающих процессов (детонационные, ударные, сейсмические волны и т.д.) – важнейшие параметры, определяющие эффективность действия взрыва. В частности, для определения скорости детонации возможно использовать либо метод фоторегистрации, либо метод электроконтактных датчиков.

Сущность фоторегистрационного метода определения скорости детонации заключается в непрерывной фоторегистрации движения светящегося фронта детонационной волны по боковой поверхности испытуемого заряда [1]. Метод оптической фоторегистрации имеет высокую точность определения скорости детонации взрывчатых веществ (ВВ), но при этом требует дорогостоящих фоторегистрирующих устройств.

При методе электроконтактных датчиков фиксируется время прохождения детонационной волны через определенное сечение заряда. Детонационная волна, проходя через область электромагнитного датчика, находящегося под напряжением, замыкает его.

При ионизационном методе определения скорости детонации измеряется время прохождения ее фронтом фиксированной базы – участка заряда между двумя или более датчиками. Принцип измерения основан на превращении исходного ВВ диэлектрика – в токопроводящую систему из ионизированных продуктов взрыва.

Если в электрической цепи обеспечить искровой промежуток, разместив его в заряде ВВ, то в момент прохождения фронта детонации через него, в электрической цепи возникает импульс тока, который может быть зарегистрирован осциллографическим измерителем времени или частотомером [1].

Размещая два электромагнитных датчика на расстоянии l (м), можно зафиксировать интервал времени t (с), за которое детонационная волна проходит это расстояние. Соответственно, рассчитывается скорость детонации:

$$D = L/t, \text{ (м/с)}$$

Меньшиков Павел Владимирович – младший научный сотрудник ИГД УрО РАН, Екатеринбург

Шеменев Валерий Геннадьевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией разрушения горных пород ИГД УрО РАН, Екатеринбург;

Сеницын Виктор Александрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИГД УрО РАН, Екатеринбург;

Погрешность измерения при определении скорости детонации 1 – 2 %.

Однако, благодаря новейшему реостатному измерительному прибору DATATRAP II DATA/VOD Recorder точность измерения может быть многократно повышена.

Измерительный комплект оборудования DATATRAP II DATA/VOD Recorder (компания «MREL Group of Companies Limited») используется для определения основных характеристик взрывчатых веществ и воздействия взрыва на окружающую среду. Он предназначен для определения детонационных характеристик ВВ в технологических скважинах и на полигоне при производстве взрывных работ. Детонационные характеристики необходимы для определения характеристик взрывчатых веществ на соответствие стандартам контроля качества, устанавливаемым производителем. С помощью прибора возможна оценка сейсмического и ударно-воздушного воздействия от технологических массовых взрывов на сохранность охраняемых объектов, в т.ч. зданий и сооружений, расположенных вблизи взрывоопасных зон.

От мировых аналогов измерительный комплект оборудования DATATRAP II DATA/VOD Recorder для определения скорости детонации взрывчатых веществ отличается большим количеством каналов для измерения, возможностью параллельного измерения скорости детонации по каждому отдельному каналу, большим объемом внутренней памяти с возможностью ее дальнейшего увеличения, большой и независимой программируемой частотой дискретизации по каждому отдельному каналу от 1 Гц до 10 МГц. Кроме того, DATATRAP II DATA/VOD Recorder позволяет получить любую другую информацию от любого сенсора, на выходе у которого имеется постоянный ток (скорость смещения, ускорение, давление на фронте ударной воздушной волны (УВВ), температура, детонационное давление и натяжение) [2].

Измерение скорости детонации взрывчатых веществ выполняется реостатным методом. В заряд ВВ по всей его длине помещают измерительный кабель, который присоединяют к коаксиальному кабелю, а затем к измерительному прибору (рис. 1). При взрыве, по мере прохождения детонационной волны по заряду ВВ, длина измерительного кабеля уменьшается и, соответственно, изменяется сопротивление кабеля. Регистрирующий прибор непрерывно измеряет величину сопротивления электрической цепи и записывает ее изменение во встроенную память. Регистрирующий прибор фиксирует событие (взрыв одного заряда) в виде цифрового файла (таблица «время – величина сопротивления») с возможностью расшифровки на персональном компьютере для построения диаграмм – «длина заряда – время» с автоматическим вычислением скорости детонации [3].

Комплект оборудования DATATRAP II DATA/VOD Recorder («MREL Group of Companies Limited») для измерения скорости детонации взрывчатых веществ состоит из 4-х частей: измерительного кабеля VOD PROCABLE-LR «Синий», VOD PROCABLE «Зеленый» или зондовых стержней VOD PROBEROD-

HR/HS, коаксиального радиочастотного кабеля типа РК (РК-75, РК-50 или RG-58/U), BNC-адаптеров и блока регистрирующей аппаратуры DATATRAP II DATA/VOD Recorder.

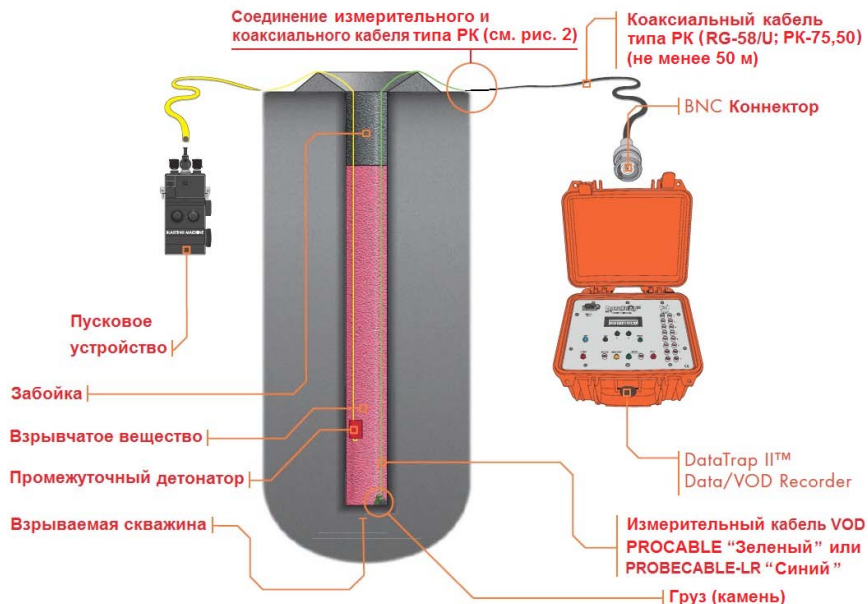


Рис. 1. Схема расположения измерительного кабеля VODPROCABLE при измерении скорости детонации ВВ в одной скважине

Измерительные кабели VOD PROCABLE-LR «Синий» и VOD PROCABLE «Зеленый» имеют классическую конфигурацию стандартного коаксиального кабеля типа RG, где провод с высоким сопротивлением является главным проводом, а оплётка действует как обратный провод. Диэлектрический материал, помещенный между проводом высокого сопротивления и обратным проводом, обеспечивает изоляцию и их физическое разделение. Последнее снижает возможность короткого замыкания в процессе работы с кабелем. Пластиковый внешний слой защищает зондовый кабель от износа.

Оба кабеля используются для измерения скорости детонации взрывчатых веществ во взрывных скважинах и времени задержки между скважинами и колонками зарядов. Выбор кабеля зависит от полного сопротивления цепи, которое, в свою очередь, зависит от количества исследуемых скважин. Единственное различие между двумя рассматриваемыми кабелями заключается в их номинальном или удельном сопротивлении. Удельное сопротивление зондового кабеля VOD PROCABLE «Зеленый» – 11,2 Ом/м, удельное сопротивление кабеля PROBECABLE-LR (LR означает Low-Resistance – низкое сопротивление) – 3,38 Ом/м. Последнее значение позволяет проводить запись скорости детонации на расстояниях до 850 м [2].

Зондовый стержень VOD PROBEROD-HR/HS (рис. 2) представляет собой калиброванный прочный зонд, состоящий из изолированного провода высокого сопротивления, помещённого в металлическую трубку небольшого диаметра, действующей как обратный провод цепи. Такие зонды специально разработаны для измерения скорости детонации взрывчатых веществ в картриджах и коротких трубчатых образцах [2].

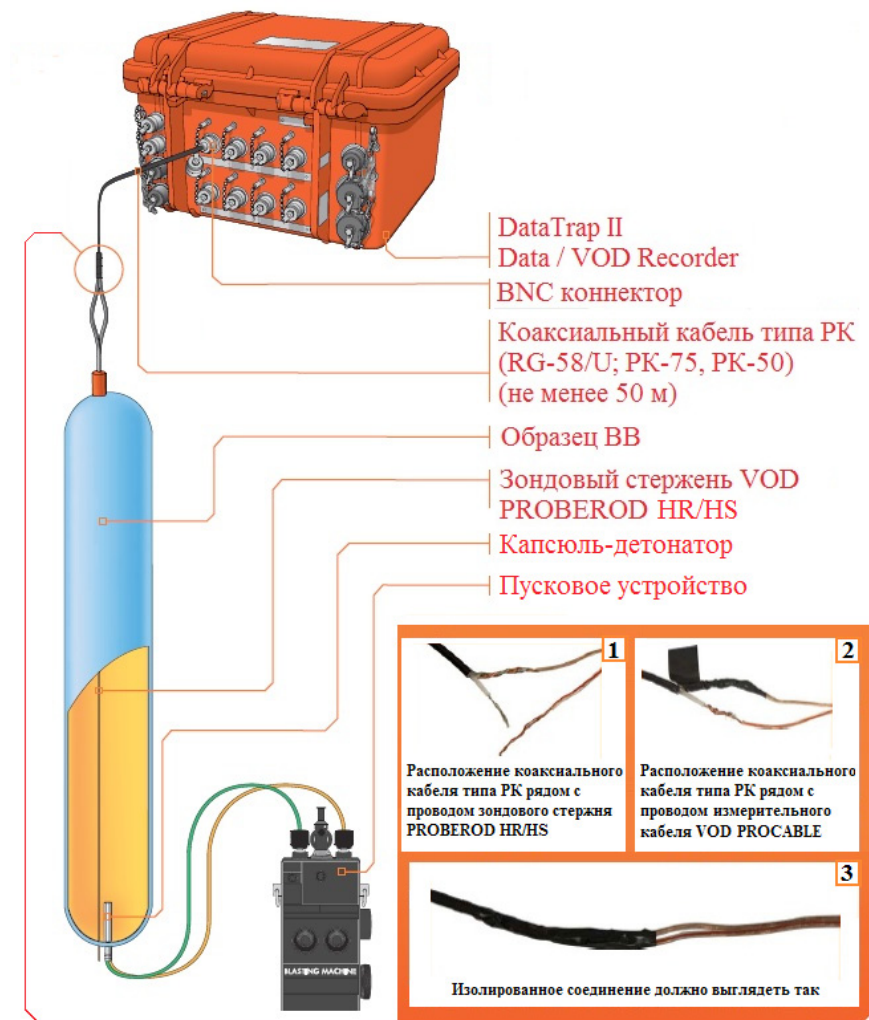


Рис. 2. Схема расположения зондового стержня VODPROBERODHR/HS при измерении скорости детонации в образце ВВ.

Метод измерения ускорения сейсмических колебаний для оценки сейсмического воздействия на здания и сооружения (далее объекты), расположенные вблизи взрывоопасных зон, основан на регистрации механических колебаний грунта в основании объекта с помощью трехосного пьезоэлектрического акселерометра ICP, преобразующего механические колебания в электрические сигналы напряжения постоянного тока, записываемые на регистрирующий прибор DATATRAP II DATA/VOD Recorder.

Комплект оборудования для измерения ускорения сейсмических колебаний состоит из 5-ти частей: трехосного пьезоэлектрического акселерометра ICP (модель 356A02), сигнального кабеля для подключения трехосного акселерометра ICP, трехканального преобразователя сигналов ICP (модель 480B21), BNC-кабелей и блока регистрирующей аппаратуры DATATRAP II DATA/VOD Recorder.

Метод измерения давления на фронте УВВ для оценки ее воздействия на остекление зданий и сооружений основан на регистрации колебаний диафрагмы чувствительного элемента датчика давления ICP карандашного типа, преобразующего механические колебания в электрические сигналы напряжения постоянного тока, с записью на регистрирующий прибор DATATRAP II DATA/VOD Recorder.

Комплект оборудования для измерения давления на фронте УВВ состоит из 6-ти частей: датчиков давления взрывной волны ICP карандашного типа (модель 137B21B), сигнальных коаксиальных BNC-кабелей для подключения датчиков, четырехканального усилителя высокочастотных сигналов ICP (модель 482C05), блока питания, BNC-кабелей и блока регистрирующей аппаратуры DATATRAP II DATA/VOD Recorder.

Схема измерения ускорения сейсмических колебаний и давления на фронте УВВ представлена на рис. 3.

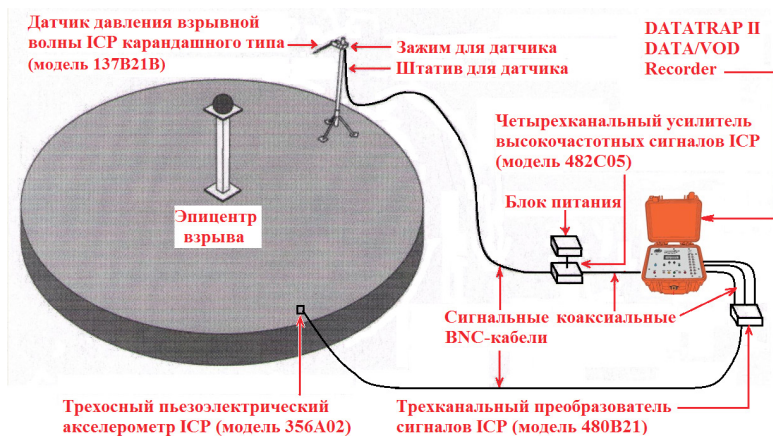


Рис. 3. Схема измерения ускорения сейсмических колебаний и давления на фронте УВВ.

Применение прибора DATATRAP II DATA/VOD Recorder совместно с имеющейся аппаратной базой ИГД УрО РАН позволяет выполнить более точные стандартные и дополнительные измерения таких величин как скорость и длительность детонации, детонационное давление при взрыве порошкообразных, гранулированных и эмульсионных ВВ, как на испытательном полигоне, так и в технологических скважинах, а также параметров взрыва и его воздействия на окружающую среду, таких как скорость смещения, ускорение сейсмических колебаний и давление на фронте УВВ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Определение скорости быстротекающих процессов. – Санкт-Петербург: СПбГТИ, 2002. – С. 17.
2. DataTrap II DATA/VOD Recorder. Operator Manual/MREL Group of Companies Limited. Edition 3.0. – Canada, 2013 – 102 p.
3. VODMate Operator Manual/Instantel. – Canada, 1998. – 99 p.

БЕЗОПАСНЫЙ НИЗКОВОЛЬТНЫЙ ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОДЕТОНАТОР МГНОВЕННОГО ДЕЙСТВИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*И.В. Овчаров, С.В. Баталов, А.А. Щуцкий,
С.И. Карачинский, О.А. Тимофеев*

До 90-х годов прошлого века применялись средства инициирования (СИ) разработки ГНПП “Краснознаменец” (г. Санкт-Петербург) на основе инициирующих взрывчатых веществ (ИВВ), в частности, электродетонаторы ЭД – 8, ЭД-0,5-9 и т.п.

К их недостаткам следует отнести наличие инициирующих взрывчатых веществ, у которых повышенная чувствительность к разрядам статического электричества и вероятная опасность несанкционированного срабатывания при хранении, транспортировании и монтаже.

В настоящее время РФЯЦ-ВНИИТФ завершает отработку безопасного низковольтного полупроводникового электродетонатора РЭД36 [1], в котором используется полупроводниковый элемент, генерирующий поток плазмы в дефлагирующее вторичное ВВ. Дефлагирующие ВВ, обладают именуемые иногда комплексными, соблюдая все требования безопасности, свойственные бризантным ВВ (БВВ), обладают высокой восприимчивостью к потоку плазмы, генерируемому при взрывном испарении легированной полупроводниковой структуры и имеют малую длину участка перехода горения в детонацию.

ЭД разрабатывается для применения в высокоточных электрических системах инициирования подрыва рассредоточенных зарядов БВВ в горнодобывающей промышленности, в строительстве, при демонтаже утилизируемого оборудования и сооружений и кумулятивных зарядов при утилизации радиационно-опасных конструкций атомных станций.

Конструктивная схема РЭД36 (рис. 1) состоит из полупроводникового энергопреобразующего устройства ПЭУ (2) и стальной гильзы (7), сваренных между собой. В гильзу запрессованы две навески БВВ (4) и колпачок (6), снаряженный навеской ТЭН(5).

Принцип действия ЭД РЭД36 следующий: при подаче электрического импульса на полупроводниковый кристалл ПЭУ происходит выброс высокотемпературной плазмы, инициирующей дефлаграцию прилегающей к нему навески бризантных ВВ (4), переходящую в её детонацию. Детонационная волна

Российский Федеральный ядерный центр – Всероссийский НИИ технической физики им. акад. Е. И. Забахина. г. Снежинск, Челябинская область, Россия.

Овчаров Игорь Владимирович – начальник отдела

Баталов Сергей Валентинович – начальник исследовательской лаборатории

Щуцкий Алексей Анатольевич – начальник конструкторской бригады

Карачинский Станислав Иванович – кандидат технических наук, начальник отдела

Тимофеев Олег Анатольевич – начальник исследовательской группы

инициирует заряд ТЭНа (5), в результате чего на выходе ЭД формируется ударная волна с параметрами, достаточными для инициирования бризантных ВВ пониженной чувствительности.

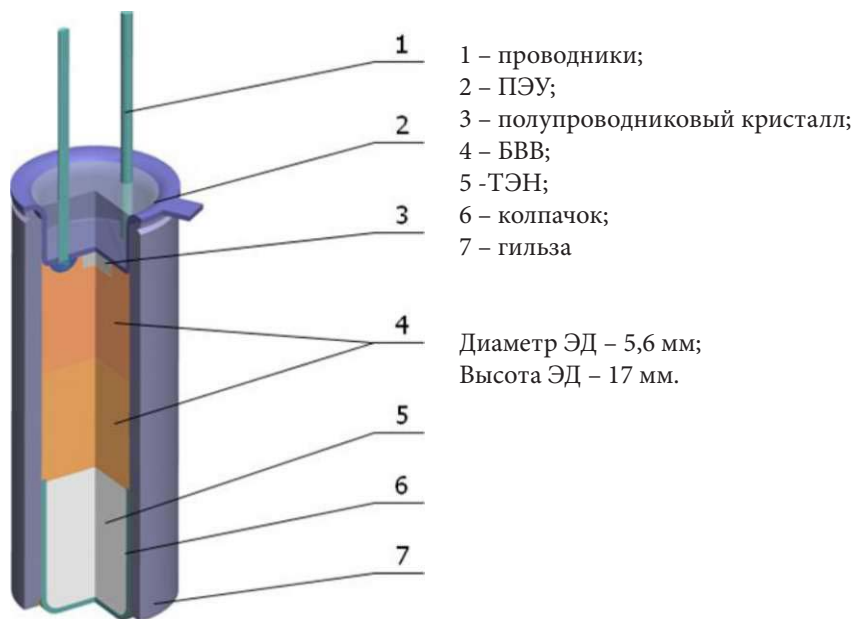


Рис. 1 – Безопасный низковольтный полупроводниковый электродетонатор РЭД36

Задействование ЭД осуществляется от разряда конденсаторов емкостью $(20 \pm 0,1)$ мкФ или $(1 \pm 0,1)$ мкФ, заряженных до напряжения $(20,0 - 24,0)$ В или $(80,0 - 150,0)$ В, соответственно электрическое сопротивление цепи между выводами ЭД от 0,7 до 1,4 Ом, а время срабатывания ЭД не более 20 мкс.

В многочисленных экспериментах подтверждена работоспособность ЭД после механических ударных и вибрационных нагрузок, в диапазоне температур $(+65^\circ\text{C} - -50^\circ\text{C})$.

Применение специально разработанного полупроводникового элемента позволяет обеспечивать высокую стойкость ЭД к электромагнитным воздействиям, включая разряды статического электричества. Использование в конструкции ЭД только дефлагирующих и бризантных ВВ обеспечивает высокую безопасность при эксплуатации даже в экстремальных условиях (удар, пожар).

Экспериментально подтвержденными характеристиками безопасности ЭД являются: сохранение работоспособности после многократных воздействий разряда статического электричества (РСЭ) 20 кВ и интенсивных элект-

ромагнитных полей; несрабатывание при воздействии (РСЭ) напряжением 25 кВ; сохранение работоспособности ЭД после воздействия проверочного тока 0,05А без ограничения времени или при безопасном токе 0,5 А в течение 5 минут;

– в условиях пожара ЭД РЭД36, за счет опережающего выгорания навески ТЭНа не формируется штатный детонационный импульс, что является важнейшим преимуществом ЭД РЭД36 перед любыми другими электродетонаторами.

Совокупность данных эксплуатационных характеристик РЭД36 позволила приступить к разработке экспериментального электронного ЭД для систем инициирования повышенной безопасности.

Общий вид электронного ЭД приводится на рис. 2.

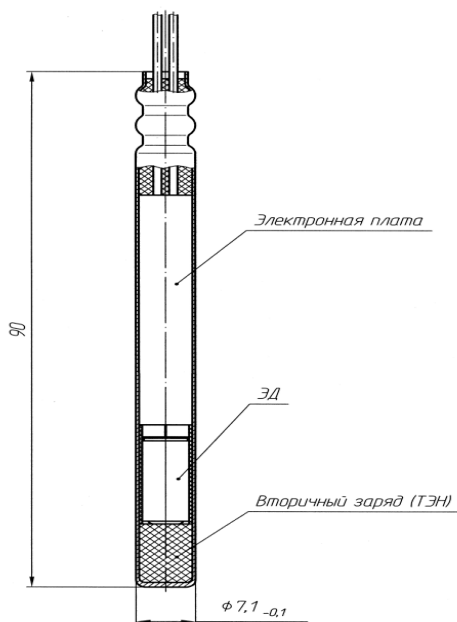


Рис. 2 – Электронный полупроводниковый электродетонатор для систем повышенной безопасности

Электронный ЭД по габаритам и инициирующей способности аналогичен широко используемых в настоящее время серийных ЭД общего и специального назначения и по этому полностью пригоден для использования в промышленных системах инициирования. Электронная плата запрограммирована каждому детонатору на свой номер и задержку срабатывания, начиная от мгновенного. Программирование возможно осуществлять после установки детонаторов в заряды ВВ, ибо конденсатор в

составе электронной платы в этот момент не заряжен, а электрическая энергия, необходимая для программирования, не может вызвать срабатывание детонатора. После ввода программы и подачи питания для зарядки конденсаторов подается команда на подрыв, при этом каждый детонатор срабатывает по своей программе, независимо от других детонаторов. Возможна также процедура снятия питания и “обнуления” при подаче команды “отбой” в случае отмены подрыва.

Для подтверждения возможности использования разработанного электронного ЭД в промышленности, намечены полигонные испытания на иницирующую способность, одновременность срабатывания и на аварийное воздействие пожара.

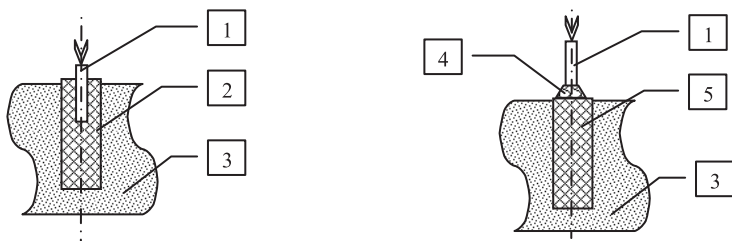
Испытания на иницирующую способность электронного ЭД проводятся прямым методом [2] с использованием флегматизированного патронированного аммонита №6ЖВ-200 ГОСТ21984-76 диаметром 32 мм массой 200 г с плотностью $1,0 - 1,2 \text{ г/см}^3$ и промежуточного детонатора шашек диаметром 40 мм массой 185 г из сплава тротила с гексогеном ТГ4/6. Плотность аммонита №6ЖВ в патроне, согласно указанного ГОСТа, составляет $1,0 - 1,2 \text{ г/см}^3$, а плотность литой шашки ТГ4/6 составляет $1,75 \text{ г/см}^3$.

В качестве эталона по иницирующей способности применяется промышленный высоковольтный электродетонатор ЭДВ-1 ТУ 84-305-87, имеющий навеску тетрила массой 1 г. Иницирующая способность ЭД оценивается по полноте детонации аммонита №6ЖВ или шашки из сплава ТГ4/6.

Схема постановки опытов при испытаниях электронного ЭД на иницирующую способность приведена на рис. 3. Испытания проводятся на рабочем поле полигона на расстоянии $\sim 5 \text{ м}$ от его лобовой стены. Исследуемая сборка (патрон №6ЖВ или шашка ТГ 4/6, снабжённые электродетонатором) устанавливается в выемку в специально подготовленный песчаный грунт на глубину, равную высоте патрона (шашки). Иницирование ЭД во всех опытах производится с использованием системы подрыва, воспроизводящей электронный вариант ЭД, схема которой приведена на рис. 4. Факт подрыва заряда ВВ определяется по шумовому эффекту и наличию воронки в песчаном грунте. Испытания на одновременность срабатывания зарядов ВВ проводятся одновременным подрывом 2-х зарядов аммонита №6ЖВ, установленных в песчаном грунте на глубине $\approx 400 \text{ мм}$. Схема постановки опытов приведена на рис. 5. Одновременность срабатывания зарядов ВВ оценивается по видеограмме, регистрируемой с помощью видеокамеры “Canon DXLI”, и по контактной методике с использованием фольговых контактных датчиков, формирователя импульсов РУПИ 1013 и полевого компьютера МЦР-32.

Испытания на аварийное воздействие пожара проводятся с использованием оснастки – решетки, изготовленной из стальной арматуры и кювета

для размещения керосина. Схема постановки опытов приведена на рис. 6. Перед опытом в кювет заливается необходимое для поддержания горения в течение 10...15 мин. количество керосина, а на решетке размещается патрон аммонита с ЭД, установленный в отрезок стальной трубы диаметром ~50 мм. Поджиг керосина производится дистанционно, а с помощью 3-х термопреобразователей осуществляется измерение температуры пламени и нагрева патрона аммонита. Процесс горения заряда ВВ с ЭД регистрируется видеокамерой "Canon DXL1".



1 – ЭД, 2 – патрон аммонита №6ЖВ, 3 – песок,
4 – пластилин, 5 – шашка ТГ4/6.

Рис. 3 – Схема постановки опытов при испытаниях ЭД на иницирующую способность

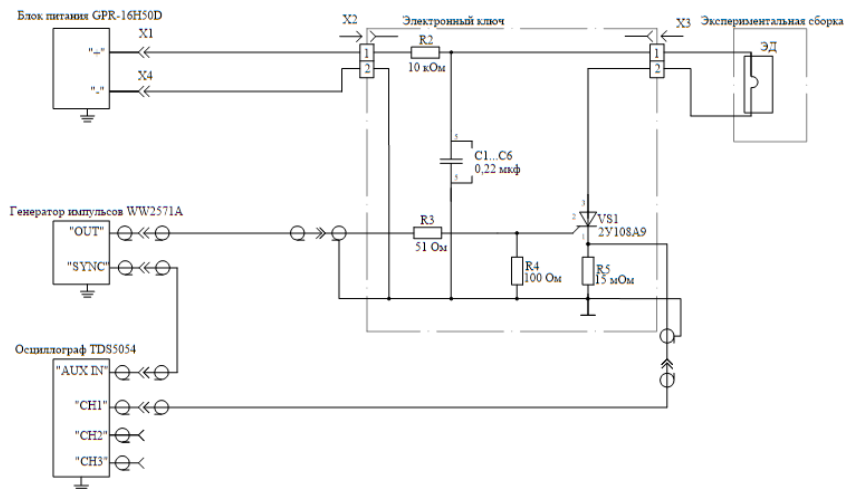
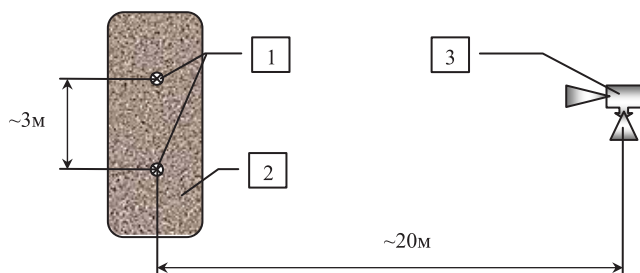


Рис. 4 – Схема подрыва ЭД



1 – заряд ВВ, 2 – песчаный грунт, 3 – видеокамера

Рис. 5 – Схема постановки опыта при испытании на разновременность срабатывания заряда ВВ

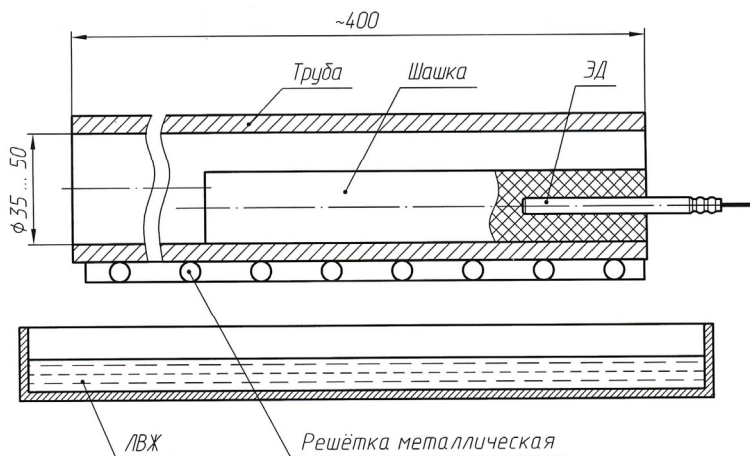


Рис. 6 – Схема постановки опытов при испытаниях ЭД на аварийное воздействие пожара

Применение безопасного, низковольтного, программируемого электродетонатора, разработанного на основе ЭД РЭД36, позволит создать эффективную и безопасную систему, конкурирующую с лучшими зарубежными образцами крупномасштабного взрывания в горнорудной промышленности и в строительстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Овчаров И.В., Щуцкий А.А. и др. Патент на изобретение «Электродетонатор» №2527985 от 15.07.2014 г.
2. Граевский М. М. Справочник по электровзрыванию, М. 2000 г.

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАСПОЛОЖЕНИЯ СКВАЖИН ПРИ МАССОВОЙ ОТБОЙКЕ КВАРЦА НА КЫШТЫМСКОМ ПОДЗЕМНОМ РУДНИКЕ

А.А. Смирнов, А.А. Рожков, И.В. Качалов

Кыштымское месторождение высокоценного кварца разрабатывается Кыштымским ГОКом и является единственным в России стабильным источником сырья для производства новых материалов для электронной, оптической, светотехнической промышленности, наноиндустрии и солнечной энергетики.

Камерно-столбовая система разработки, применяемая при подземной добыче кварцевого сырья на Кыштымском руднике, характеризуется большими потерями балансовых запасов кварца (29,6 %). Под действием взрыва кварц переизмельчается и становится некондиционным (15,6 % балансовых запасов кварца). Некондиционной фракцией является размер куска – 20 мм. Общие потери балансовых запасов кварца при добыче достигают 45,2 %.

Для снижения потерь кварца предусмотрена замена камерно-столбовой системы разработки на камерную систему с последующим обрушением целиков. Дополнительное извлечение кварца из целиков позволяет уменьшить потери балансовых запасов до 12 %. При камерной системе предполагается массовая отбойка руды веерами взрывных скважин. Однако при веерной отбойке требуется обосновать такие параметры буровзрывных работ, при которых не будет происходить переизмельчения кварца и увеличения выхода некондиционной фракции. Это требование обусловлено изменением механизма разрушения пород.

Существующая схема отбойки кварца на Кыштымском руднике основана на применении скважинных зарядов взрывчатого вещества (ВВ), взрываваемых независимо друг от друга. Механизм разрушения горного массива одиночными зарядами достаточно полно обоснован в современной теории взрыва. При использовании современных методик расчета действия взрыва одиночного цилиндрического заряда можно оценить выход мелкой фракции при схеме взрывания кварца шпуровыми зарядами диаметром 42 мм аммонитом 6ЖВ. Оценка выполняется в следующем порядке.

Изменение давления продуктов детонации (ПД) при расширении газовой полости происходит по зависимости [1]. $PS^{-1} = \text{const}$,

где P – текущее давление в продуктах взрыва, Па;

Смирнов Алексей Алексеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург

Рожков Артем Андреевич – научный сотрудник ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург

Качалов Игорь Владимирович – главный инженер ОАО «Кыштымский горно-обогатительный комбинат»

S – текущая площадь сечения полости, м^2 ;

i – показатель политропы взрывных газов.

Среднее начальное давление продуктов детонации:

$$P_o = 0,5 \rho_{\text{вв}} D^2 (i + 1)^{-1},$$

где $\rho_{\text{вв}}$ – плотность ВВ в заряде, кг/м^3 ;

D – скорость детонации ВВ, м/с .

Очевидно, что текущее давление $P = P_o (r/r_o)^{2i}$,

где r и r_o – текущий и начальный радиус газовой полости, м .

При расчетах допускается, что среда монолитна, изотропна и внешне не нагружена, ее поведение под взрывной нагрузкой определяется по законам теории упругости, при условии:

$$P_o G^{-1} \ll 1,$$

где G – модуль сдвига среды, Па .

Согласно теории упругости при увеличении давления в цилиндрической полости радиус полости возрастает на величину

$$\Delta r_o = 0,5 P_k r_o G^{-1}.$$

Давление в полости на момент окончания ее расширения

$$P_k = P_o [r_o(r_o + \Delta r_o)^{-1}]^{2i} = 2 P_o [1 + (1 + 4 i P_o G^{-1})^{0,5}]^{-1}.$$

Величина установившегося радиуса полости

$$r_k = [1 + P_o G^{-1} (1 + 4 i P_o G^{-1})^{0,5}] r_o.$$

Возникающие напряжения

$$\delta_{\text{тр}} = 2 P_o [r_o R^{-1}]^2 [1 + (1 + 4 i P_o G^{-1})^{0,5}]^{-1},$$

где R – расстояние рассматриваемой точки среды от центра заряда, м ;
тангенциальные

$$\delta_{\text{фф}} = -2\gamma P_o [r_o R^{-1}]^2 [1 + (1 + 4 i P_o G^{-1})^{0,5}]^{-1},$$

где γ – угол между смежными радиальными трещинами, радиан.

Принимая $\delta_{\text{фф}} = |\delta_r|$ и $r_o = r_k$, можно определить количество радиальных трещин, которое может образоваться на границе зоны радиусом R_i . Для этого рассчитывать величину угла между трещинами

$$\gamma = |\delta_r| [2 P_k (r_k R^{-1})^2]^{-1}, \text{ радиан}$$

При камуфлетном взрыве удлиненного заряда радиальные трещины разбивают массив на клиновидные сектора, которые в свою очередь дробятся концентрическими трещинами. Дробление этих секторов происходит и вдоль оси зарядов. Если принять, что в результате взрыва происходит образование в основном кубовидных кусков, то определяющим

параметром дробления в ближней зоне взрыва будет размер клиновидного сектора между смежными трещинами (или длина дуги) – $d_{\text{фр}}$. Радиус зоны, в которой образуются куски размером меньше $d_{\text{фр}}$

$$R_{\text{фр}} = [2P_{\text{к}} r_{\text{к}}^2 d_{\text{фр}} |\delta_{\text{р}}|^{-1}]^{1/3}$$

Можно допустить, что в этой зоне развитие трещин как при камуфлетном взрыве одиночного удлиненного заряда, так и при его взрыве на обнаженную поверхность будет одинаково, тогда и зона переизмельчения материала около заряда ВВ будет одинаковой.

Всоответствии с изложенной методикой выполнен расчет выхода некондиционной фракции при отбойке кварца.

При расчете приняты следующие допущения:

- расчеты и эксперименты при взрыве шпуровых зарядов в крепких скальных породах показали, что расширение газовой полости не превышает 2–5 мм; и из-за незначительного объема разрушения материала в этой зоне его можно не учитывать;
- в донной части шпура переизмельчения породы не происходит вследствие образования «стаканов»; зона переизмельчения не образуется и в устьевой незаряжаемой части шпура.

Расчет выполнен из условия взрыва аммонита № 6ЖВ в шпурах диаметром 42 мм исходные данные для работы: фактические физико-механические свойства руды (табл. 1); КИШ = 0,3; коэффициент заряжения 0,9; выход кварца 0,3 – 0,6 м³/м шпура; детонационные характеристики аммонита № 6ЖВ – согласно работе [2].

Результаты расчета представлены в табл. 2.

Таблица 1

Физико-механические свойства кварцевой руды

№ п/п	Наименование показателей	Кварц однородный
1	Плотность, т/м³	2,67
2	Коэффициент крепости	10-15
3	Предел прочности на сжатие, МПа	113-178
4	Предел прочности на растяжение, МПа	23-28
5	Коэффициент Пуассона	0,25-0,27
8	Динамический модуль упругости, Е·10-3 МПа	96-115
9	Модуль упругости сдвига, G·10-3 МПа	71

Расчеты показывают, что при принятой технологии взрывания выход переизмельченной фракции достаточно высок.

Таблица 2

Показатели взрыва заряда 6ЖВ в шпуре

№ п/п	Наименование показателей	Кварц однородный
1	Радиус заряда, м	0,021
2	Скорость детонации аммонита 6ЖВ, м/с [12]	4300
3	Показатель политропы взрывных газов [12]	2
4	Плотность заряжания, кг/м ³	1000
5	Начальное давление продуктов детонации, МПа	3082
6	Конечный радиус расширения взрывной полости, м	0,022
7	Давление газов после расширения полости, МПа	2852
8	Радиус зоны переизмельчения, м	0,129
9	Площадь зоны переизмельчения вокруг шпура, м ²	0,052
10	Вероятный выход фракции –20 мм на 1 м заряда, м ³	0,052
11	Выход переизмельченной фракции при отбойке, %	7–14 (среднее 10,5)

Одним из направлений снижения выхода переизмельченного кварца является применение менее бризантных гранулированных взрывчатых веществ, например гранулит АС-8 и игданит. При использовании этих ВВ выход переизмельченной фракции может быть снижен на 30 – 40 % (рис. 1).

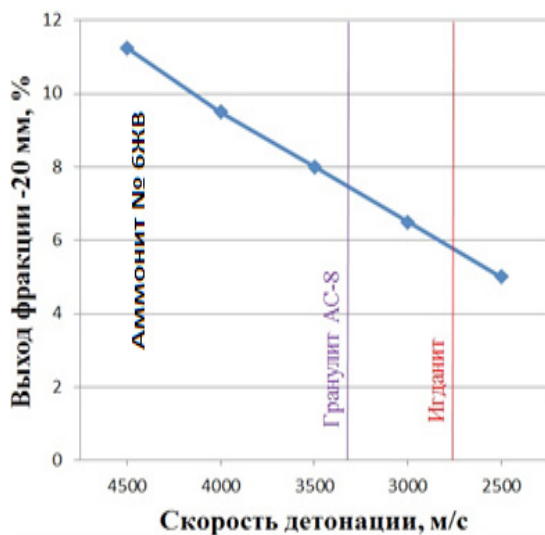


Рис. 1 – Зависимость выхода фракции – 20 мм от скорости детонации гранулированных ВВ при шпуровой отбойке кварца Кыштымского месторождения.

Аналогичный результат может быть получен за счет применения конструкции заряда, позволяющая снизить давление ПД в газовой полости в момент ее расширения. Эффективной является применение конструкции с образованием воздушных полостей рассредоточенных зарядов воздушными промежутками или инертными заполнителями при длине промежутков будет равной длине заряжаемых участков шпуров.

Для более эффективной работы взрыва шпуровая отбойка при камерной системе разработки должна быть заменена на массовую отбойку руды веерами взрывных скважин.

Однако, методики расчета действия взрыва веера скважинных зарядов к настоящему времени пока не изучены. На практике используются или формулы, основанные на эмпирическом эталонном удельном расходе ВВ с различными поправочными коэффициентами, или выполняется расчет действия одиночного заряда расположенного в конце веерных скважин. И в том, и в другом случае не учитывается взаимодействие взрывающихся зарядов в веере.

Следует отметить, что эффект взаимодействия расположенных в одной плоскости и одновременно взрывающихся удлиненных зарядов ранее достаточно широко исследовался [4, 5, 6].

В результате было установлено, что в первоначальный период взрыва из-за взаимодействия волн напряжений и установления общего поля напряжений, между смежными зарядами образуется магистральная трещина. Дальнейшее действие взрыва на массив идентично действию плоского заряда. После пробоя массива по плоскости расположения зарядов рост радиальных трещин прекращается, и в целом дробление отбитой части массива, по сравнению с взрывом одиночных зарядов, ухудшается.

Группу взаимодействующих зарядов можно рассматривать как «плоскую систему зарядов». Под плоской системой зарядов понимается группа удлиненных зарядов ВВ, расположенных в одной плоскости, взрываемых одновременно и взаимодействующих между собой. Критерием взаимодействия является эффект пробоя массива по плоскости расположения одновременно взрывающихся зарядов ВВ.

Общая картина взаимодействия одновременно взрывающихся зарядов заключается в следующем.

При взрыве удлиненного заряда в среде образуется цилиндрическое поле напряжений. Распространение полей напряжений от взрыва смежных зарядов приводит к их встрече и интерференции, вследствие чего образуется результирующее неоднородное поле напряжений. Оно характеризуется тем, что по плоскости расположения зарядов происходит суммирование растягивающих напряжений, которое приводит к быстрому трещинообразованию и отделению части массива по этой плоскости.

Время зарождения трещин и скорость их развития определяются суммарной величиной напряжений от взрыва (расстояния между зарядами). Маги-

стральная трещина между взаимодействующими зарядами образуется при расстоянии между ними, значительно превышающем удвоенный радиус трещинообразования при взрыве идентичного одиночного заряда.

На рис. 2 показана величина напряжений в ненарушенном массиве при взрыве цилиндрического заряда гранулита АС-8, рассчитанная в соответствии с методикой [7].

Если принять за критерий предельной длины радиальных трещин предел прочности породы на растяжение, то длина радиальных трещин при взрыве одного заряда в кварце ($[\delta_p] = 26 \text{ МПа}$) составляет около 0,6 м, а длина трещины пробоа между взаимодействующими зарядами 1,6 м, т. е. действительно существенно превышает удвоенный радиус зоны развития радиальных трещин.

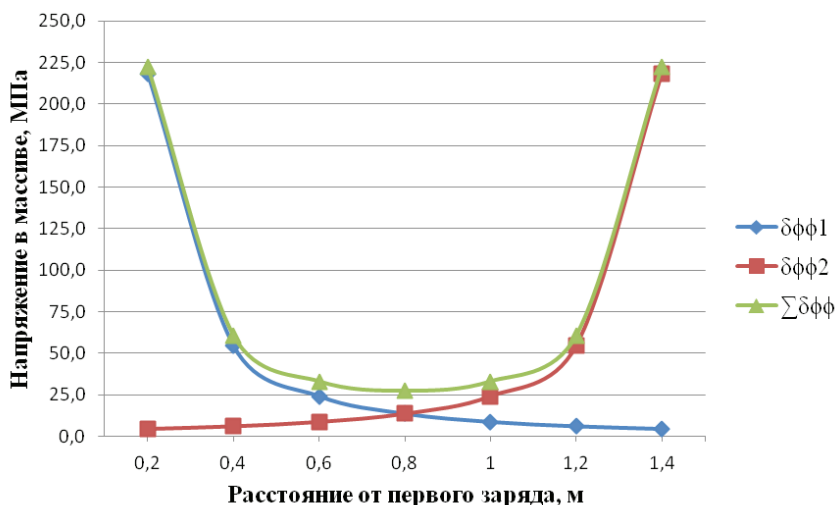


Рис. 2 – Напряжения в кварцевом массиве, вызванные взрывом одного и двух зарядов гранулита АС-8 диаметром 65 мм.

- 1 – напряжения от взрыва первого заряда;
- 2 – напряжения от взрыва второго заряда;
- 3 – суммарные напряжения от одновременного взрыва двух зарядов.

Рост трещин между зарядами происходит под действием квазистатического поля напряжений, вызванного давлением продуктов взрыва на стенки взрывной полости.

Возможно задаться условием, что от каждого заряда растет по две трещины ($\gamma = \pi$), где суммарные растягивающие напряжения в точке, лежащей на середине отрезка, который соединяет оси двух одновременно взрывающихся параллельных зарядов ВВ [5] рассчитываются по формуле:

$$\delta_{\text{сум}} = 16\pi P_o [r_o a^{-1}]^2 [1 + (1 + 4 i P_o G^{-1})^{0,5}]^{-1} = 16\pi P_k [r_k a^{-1}]^2, \text{ м.}$$

где a – расстояние между зарядами, м.

Вследствие концентрации напряжений на растущих трещинах, величина суммарных напряжений в плоскости расположения скважин существенно выше, чем суммарные напряжения в ненарушенном массиве.

Величина минимального пробойного расстояния a_{min} между зарядами определяется из условия, что $\delta_{\text{сум}} = -|\delta_p|$ (предел прочности породы на растяжение, МПа)

$$a_{\text{min}} = 4 r_k (\pi P_k |\delta_p|^{-1})^{0,5}, \text{ м}$$

При допущении, что на заключительном этапе от каждого заряда растет только по одной трещине, направленной навстречу друг другу (в этом случае $\gamma = 2\pi$), и максимальное пробойное расстояние составит:

$$a_{\text{max}} = 2^{0,5} a_{\text{min}}, \text{ м.}$$

Для реальных условий в эти расчеты следует вносить поправку на величину существующего горного давления. Причем следует учитывать, что действующие в массиве напряжения могут как препятствовать, так и способствовать расколу массива по плоскости зарядов. Чтобы учесть это действие, в формулу для расчета пробойного расстояния необходимо вместо $|\delta_p|$ подставлять $|\delta_p| + \delta_1$, где δ_1 – действующее в массиве перпендикулярное плоскости зарядов напряжение с соответствующим знаком. В расчетах принято, что в массиве действуют сжимающие напряжения. Результаты расчетов по этой методике приведены в табл. 3

Таблица 3

Пробивное расстояние между зарядами при отбойке кварца

№ п/п	Наименование показателей	Величина
1	Радиус заряда, м	0,0325
2	Скорость детонации гранулит АС-8, м/с	3400
3	Показатель политропы взрывных газов	1,5
4	Плотность заряжания, кг/м ³	1050
5	Начальное давление продуктов детонации, МПа	2428
6	Конечный радиус расширения взрывной полости, м	0,034
7	Давление газов после расширения полости, МПа	2150
8	Минимальное пробойное расстояние, м	
	При $\delta_1 = 0$	2,2
	При $\delta_1 = 2$ МПа	2,1
	При $\delta_1 = 4$ МПа	2,0
	При $\delta_1 = 6$ МПа	1,9

№ п/п	Наименование показателей	Величина
9	Максимальное пробойное расстояние, м	
	При $\delta_1 = 0$	3,1
	При $\delta_1 = 2$ МПа	3,0
	При $\delta_1 = 4$ МПа	2,9
	При $\delta_1 = 6$ МПа	3,7

Учитывая данные табл. 3 и то, что на практике размеры сетки скважин диаметром 65 мм находятся в пределах 1,5 – 2,0 м, можно утверждать, что любой веер скважинных зарядов следует рассматривать как плоскую систему зарядов. Аналогичные расчеты С.А. Горинова для скважин диаметром 105 мм подтверждают данный вывод.

Под плоской системой зарядов часто понимается система, разрушающее действие которой аналогично действию плоского заряда той же массы и размеров. Взрыв такой системы на компенсационное пространство вызывает рост трещины по плоскости зарядов в краевой части системы. Затем в поле сжимающих напряжений начинается рост трещин поперечного сдвига, которые развиваются в сторону обнаженной поверхности.

В этот период основное разрушающее воздействие обусловлено квазистатическим давлением взрывных газов. Отсюда можно сформулировать условие, что время отделения отбиваемого слоя от массива по Л.Н.С. должно быть больше, чем время слияния трещин по плоскости зарядов и восприятия всем слоем нагрузки, вызванной давлением продуктов детонации на стенки образовавшейся щелевидной полости.

Тогда идентичность плоской системы зарядов и плоского заряда определяется уравнением $W (v_{тр.сд})^{-1} > W (C_p)^{-1} + 0,5 a (v_{тр.о})^{-1}$

где W – л.н.с., м;

a – расстояние между зарядами, м;

C_p – скорость продольной волны, м/с;

$v_{тр.сд}, v_{тр.о}$ – скорости развития трещин поперечного сдвига и нормального отрыва соответственно, с.

По Черепанову [14]

$$v_{тр.сд} = k_R C_s, \quad v_{тр.о} = k_B C_s.$$

Коэффициенты k_R и k_B зависят от коэффициента Пуассона и при $\mu=0,27$ равны соответственно 0,93 и 0,63.

$$C_p/C_s = [2(1-\mu)/1-2\mu]^{0,5}.$$

Так как W и a связаны между собой коэффициентом сближения m , можно определить m , при котором действие плоской системы зарядов аналогично действию плоского заряда. Принимая допущение, что соотношение факти-

ческих скоростей отрыва и сдвига соответствует соотношению предельных скоростей, при отбойке кварца Кыштымского месторождения рассчитанная величина $m \leq 1,6$, т. е. при такой величине коэффициента сближения рост трещин по плоскости зарядов произойдет раньше, чем отбиваемый слой полностью отделится от массива и разрушение данного слоя будет происходить под действием давления газов в щелевидной полости.

После трещинообразования по плоскости скважин дальнейшее разрушение отбиваемого слоя происходит под действием квазистатического давления газов в образованной щелевидной полости. В этом случае элемент среды в отбиваемом слое подвергается действию давления взрыва по вектору, перпендикулярному плоскости веера скважин, а суммарные напряжения в данном элементе среды равны

$$\delta_1 + \nu P, \delta_2 + \nu P, \delta_3 + P,$$

где $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – компоненты напряжения в отбиваемом слое, вызванные действием горного давления, Па;

P_1 – давление продуктов взрыва в газовой полости, Па;

ν – коэффициент бокового распора: $\nu = \mu (1 - \mu)^{-1}$. Практически во всех случаях компоненты напряжений будут сжимающими.

При хрупком разрушении материала его поведение может быть определено по теории Кулона-Мора.

При этих условиях разрушение горного массива в плоской волне сжатия в соответствии с исследованиями [11] возможно при соблюдении зависимости

$$1 - 2\mu > \sin \varphi,$$

где φ – угол внутреннего трения материала, град.

Для кварца Кыштымского месторождения угол $\varphi = 49^\circ$, $\mu = 0,26$, $1 - 2 \cdot 0,26 < \sin 49^\circ$, и условий для разрушения массива под действием плоской волны сжатия нет. Отделенный от массива слой руды отбрасывается давлением газов взрыва и в основном разделяется по естественным трещинам. Зона переизмельчения вблизи заряда не образуется.

Такая картина разрушения иллюстрируется рис. 4, где показаны результаты эксперимента по взрыву взаимодействующих зарядов в трещиноватом массиве.

Экспериментальные исследования, выполненные в ИГД показывают, что если расстояние между удлиненными взаимодействующими зарядами мало или заряды достаточно мощные, то по плоскости зарядов образуется семейство трещин, и между ними возникает зона переизмельчения линзообразной формы, а общая воронка взрыва между двумя смежными зарядами имеет вогнутую (в сторону массива) форму. При этом четко наблюдается картина роста трещин от заряда: при этом заметной зоны раздавливания непосредственно около зарядов нет. Такая картина разрушения массива исключает

ответственность за это явление действия плоской отраженной волны (последняя приводит к развитию откольных трещин, параллельных плоскости расположения зарядов). На основании этого можно сделать допущение, что данная зона образуется в поле напряжений, вызванных совместным влиянием взаимодействующих зарядов. Появление такой зоны теоретически возможно в устьевой части веера, где расстояние между скважинами невелико. Практически величина этой зоны будет существенно уменьшена за счет недозаряда скважин, регламентируемого при проектировании массовой отбойки веерами скважинных зарядов. Вследствие этого можно считать, что существенного переизмельчения кварца в ближней зоне взрыва не будет, и выход некондиционной фракции кварца – 20 мм при массовой отбойке веерами скважин может быть существенно сокращен.

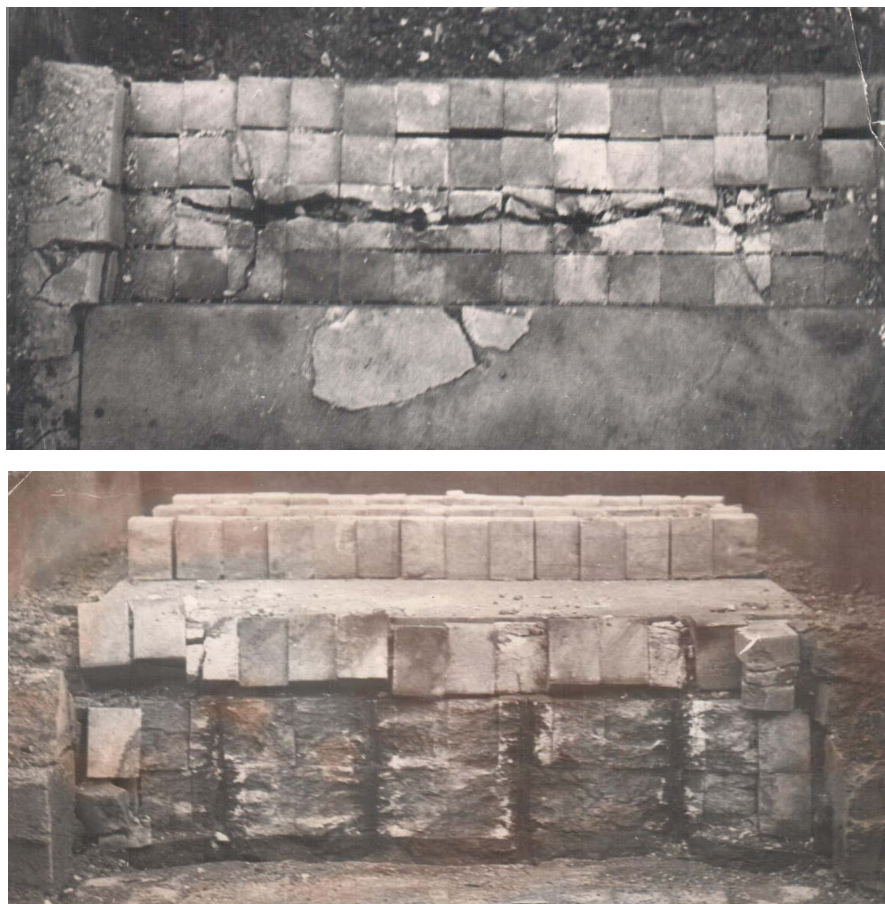


Рис. 4 – Разрушение блока из мраморных призм взрывом плоской систем зарядов

При этом следует учитывать, что удельный расход ВВ на отбойку должен быть равен минимально необходимому для качественного отделения отбиваемого слоя от массива и его дроблению с оптимальным выходом негабаритных кусков. Величина данного удельного расхода должна быть определена при проведении экспериментальных взрывов при отбойке кварца в опытных камерах. Превышение необходимого удельного расхода ВВ приведет к увеличению выхода некондиционной фракции при соударении кусков кварца, ударов о стенки камеры и при падении

ВЫВОДЫ

1. При взрывании горной породы одиночно взрывающимися шпуровыми зарядами вокруг каждого заряда образуется зона переизмельчения, вызванная действием волны напряжений от взрыва. При отбойке кварца на Кыштымском руднике шпурами диаметром 42 мм зарядами аммонита 6ЖВ радиус этой зоны вокруг каждого заряда составляет около 13 мм, а выход некондиционной фракции – 20 мм из этих зон равен 7–14 % от объема отбиваемого сырья.

2. Выполненные теоретические исследования показывают, что объем переизмельчения кварца в ближней зоне взрыва определяется детонационным давлением газов взрыва, которое в свою очередь зависит от детонационных характеристик ВВ. Вследствие этого одним из направлений снижения выхода некондиционных фракций кварца является использование гранулированных ВВ с меньшей скоростью детонации, чем у конденсированных ВВ. Так, применение для заряжания шпуров гранулита АС—8 и игданита позволит сократить выход некондиционной фракции примерно на 30 %.

3. На Кыштымском руднике предусматривается массовая отбойка кварца веерами скважин диаметром 65 мм, заряжаемых гранулитом АС-8. Наши исследования показывают, что при всех возможных параметрах расположения скважин в веере их следует рассматривать как плоскую систему зарядов, т.е. систему удлинённых зарядов, расположенных в одной плоскости, взрываемых одновременно и взаимодействующих между собой.

4. Действие взрыва плоской системы зарядов кардинально отличается от действия взрыва одиночного заряда: в начальный период взрыва по плоскости расположения взаимодействующих зарядов прорастает магистральная трещина, радиальных трещин от отдельных зарядов нет и зоны переизмельчения породы вокруг каждого заряда не образуются. В практически возможных случаях длина пробоя между двумя взрывающимися зарядами гранулита АС-8 диаметром 65 мм находится в пределах 2,0–4,0 м, т.е. включает все возможные варианты расположения скважин при отбойке кварца.

5. После пробоя массива по плоскости расположения кварца газовые полости отдельных зарядов объединяются, и отбиваемый слой находится под действием плоского поля напряжений сжатия. При хрупком разрушении в соответствии с теорией Кулона-Мора кварцевый массив, как и большинство

горных пород, под действием напряжений сжатия, не разрушается: квазистатическим давлением газов взрыва отбиваемый слой отделяется от массива, и дальнейшее его дробление определяется естественной трещиноватостью массива. Переизмельчения породы в ближней зоне взрыва не происходит, выход некондиционной фракции определяется интенсивностью удара о стенки камеры, дроблением кусков при падении и соударении, и в целом зависит от величины удельного расхода ВВ на отбойку.

6. Теоретические расчеты показывают, что при массовой отбойке кварца веерными скважинами диаметром 65 мм, заряжаемыми гранулитом АС-8, возможно снижение выхода некондиционной фракции кварца – 20 мм с 15 % до 7–10 %, т. е. на 30–50%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Покровский Г. И. Взрыв. 4-изд. – М., Недра, 1980. – 190 с.
2. Родионов В.Н. Механический эффект подземного взрыва / В.Н. Родионов, В.В. Адушкин, В.Н. Костюченко и др. – М.: Недра, 1971. – 200 с.
3. Белин В.А., Крюков Г.М. Итоги развития теории разрушения горных пород взрывом // Взрывное дело. – 2011. – №105/62. – С. 33–46.
4. Казаков Н.Н., Шляпин А.В., Лапиков И.Н. Модель полости и некоторые параметры квазистатической фазы взрыва скважинного заряда конечной длины // Взрывное дело. – 2013. – №109/66. – С. 3–17.
5. Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П., Челышев В.П., Шехтер Б.И. Физика взрыва. – М.: Изд-во «Наука», 1975. – 704 с.
6. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. Плоская теория упругости // Изд. 5. М., наука, 1966. – 707 с.
7. Шведов К.К., Дремин А.Н. О параметрах детонации промышленных ВВ и их сравнительной оценке // Взрывное дело. – 1976. – № 76/33. – С. 137–149.
8. Кучерявый Ф.И. Короткозамедленное взрывание на карьерах / Ф.И. Кучерявый, М.Ф. Друкованный, Ю.В. Гаек. – М.: Госгортехиздат. – 1962. – 197 с.
9. Сенук В.М., Смирнов А.А. Взаимодействие группы зарядов в трещиноватой среде. // Труды ИГД МЧМ СССР, вып. 22. – Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1969. – 46 с.
10. Сенук В.М. Импульс взрыва и условия более полного использования его на дробление массивов крепких пород при скважинной отбойке // ФТПРПИ. – 1979. – №1. – С. 28–34.
11. Горинов С.А. Эффективность применения плоских систем зарядов для отбойки сильнотрещиноватых руд в подземных условиях // Известия ВУЗов. Горный журнал. 1985, №7, – С. 68–73.
12. Зубрилов Л. Е., Горинов С. А., Смирнов А.А. и др. Отбойка руды плоскими системами зарядов на шахте «Южная» // Горный журнал. – 1985. – № 9. – С. 22–24.
13. Горинов С.А., Смирнов А.А. Действие взрыва плоской системы зарядов ВВ при отбойке горного массива // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2001. – № 4. – С. 42–50.
14. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения / М., Наука, – 1974, – 640 с.

МЕТОДИКА ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

И.С. Крапивина, Г.П. Берсенёв

Существующая методика определения параметров буровзрывных работ при проведении строительных горных выработок (траншей) заимствована в основном из классического опыта открытых горных работ. С учетом специфики неглубокого ($H \leq 5$ м) заложения траншей, взрывания узких (до 1–3 м шириной по дну (B_d)) траншей в зажатой среде, повышенного процента перебура скважины, достигающего до 40–50 %, увеличенного удельного расхода ВВ (q до 5 кг/м³), особенно на мелких глубиной до 2 м скважинах, на основе анализа многочисленных взрывов на строительных объектах Урала нами ранее разработаны и широко применяются типовые параметры буровзрывных работ скважинными зарядами диаметрами 110 и 130 мм при разработке траншей глубиной до 5 м и шириной по дну от 1,0 до 3,0 м.

В зависимости от ширины траншеи по дну (B_d), глубины траншеи ($H_{тр}$), крепости взрывааемых пород (f), диаметра скважин ($d_{скв}$) возможно расположение скважин вдоль оси траншеи: однорядное в узких (B_d до 1,0–1,5 м), двух и более многорядное ($B_d = 1,0$ –3,0 м) (рис. 1)

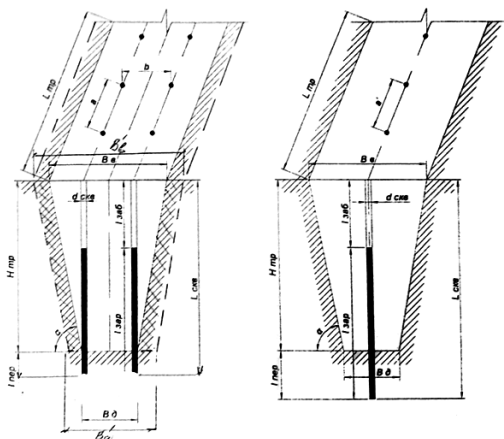


Рис. 1. Параметры БВР в узких траншеях

Крапивина Ирина Станиславовна – аспирант Уральского государственного горного университета

Берсенёв Геннадий Порфирьевич – кандидат технических наук, исполнительный директор НП «Взрывники Урала»

При двух и более многорядном продольном расположении скважинных зарядов расчет масс зарядов (Q) ведется по классической схеме:

$$Q = qabH, \text{ кг} \quad (1)$$

где b – расстояние между продольными рядами, м,

a – расстояние между поперечными рядами, м,

q – удельный расход ВВ, кг/м³,

H – глубина траншеи (слоя траншеи), м.

При однорядном продольном расположении скважинных зарядов ВВ в практике взрывного дела применяется несколько формулярных зависимостей определения объема горной массы от одной скважины: $V = W^3$, м³ (2); $V = a^2H$, м³ (3); $V = aH^2$, м³ (4); $V = a \frac{B_{\text{в}} + B_{\text{д}}}{2} H$, м³ (5)

где W – линия наименьшего сопротивления, равная половине длины заряда ($l_{\text{зар}}$) плюс длина забойки ($l_{\text{заб}}$), м; $B_{\text{в}}$ и $B_{\text{д}}$ – ширина траншеи по верху и по дну, м.

Каждая из вышеприведенных формул имеет недостатки, т.к. не учитывает характеристики применяемых ВВ и взрываемого массива. При сравнении результатов расчета масс зарядов ВВ по этим формулам ($Q=qV$, кг) и даже с учетом поправочных коэффициентов к удельному расходу ВВ (q , кг/м³) наблюдаются значительные отклонения в массах зарядов ВВ.

Поэтому при расчете масс скважинных зарядов ВВ, взрываемых в один продольный ряд в траншее наиболее применима формула 5, в которой в какой-то мере учитываются отдельные характеристики массива пород через угол откоса борта (α) траншеи:

$$V = a \frac{B_{\text{в}} + B_{\text{д}}}{2} H, \text{ м}^3, \text{ где } B_{\text{в}} = B_{\text{д}} + 2H \text{ctg} \alpha, \text{ м; } V = a \frac{B_{\text{д}} + 2H \text{ctg} \alpha + B_{\text{д}}}{2} H = aH(B_{\text{д}} + H \text{ctg} \alpha), \text{ м}^3 \quad (6)$$

Таким образом, при проведении узких траншей при однорядном продольном расположении скважин массу скважинных зарядов было целесообразно определять по формуле (7):

$$Q = qaH (B_{\text{д}} + H \text{ctg} \alpha), \text{ кг} \quad (7)$$

Однако, в существующей методике определения параметров буровзрывных работ при проведении траншей не учитываются специфические факторы, а именно:

- влияние действия зажима; особенно на глубине 2,0–5,0 м для глубоких и узких траншей;

- влияние открытой дневной поверхности для мелких (до 2-х м) траншей, выражающейся в резко снижающих объемах горной массы, приходящейся как на одну скважину, так и на 1 п.м. скважины;

- совместное взаимодействие смежных (соседних) зарядов ВВ.

Эти факторы необходимо учитывать при расчетах параметров БВР, т.к. занижение массы зарядов ВВ без их учета приводят к искажению проект-

ных параметров БВР, и как следствие, к некачественной проработке траншеи и к увеличению физических и экономических затрат на их устранение.

Для достижения качественного дробления горных пород в контурах траншеи в расчеты приходится дополнительно вводить поправочные коэффициенты: на «зажим» – K_3 , на взаимодействие смежных (соседних) зарядов ВВ – $K_{вз}$ и на «глубину» – K_r .

С целью устранения этих недостатков нами разработана методика определения эффективных, рациональных параметров БВР при разработке траншей с позиции взрывного интенсивного дробления горных пород в ближайшей зоне взрывных скважин на основе использования энергии взрывчатых веществ (плотности и энергоемкости) и учета характеристик горных пород (пределов их на сжатие и на скалывание), условий взрывания («зажима» пород, факторов «глубины» и взаимодействия зарядов ВВ).

На основе анализа многочисленных взрывов, с учетом исследований по разрушению горных пород взрывом, влияния смежных (соседних) зарядов ВВ, энергетических характеристик применяемых взрывчатых веществ выведена формула определения (8) радиуса зоны интенсивного дробления (R_i):

$$R_i = r_o \sqrt{\frac{\sigma_{сж}}{\sigma_{ск}}} \sqrt[3]{K_{ВВ} Q} \times K_{вз.з}, \text{ м} \quad (8)$$

где: Q – масса заряда эталонного ВВ (аммонита № 6ЖВ), кг;

r_o – радиус заряда ВВ, м;

$\sigma_{сж}$ и $\sigma_{ск}$ – сопротивление горных пород сжатию и скалыванию, 10^5 ПА;

$K_{ВВ}$ – коэффициент детонационного эквивалента (импеданса) применяемых взрывчатых веществ;

$K_{вз}$ – коэффициент взаимодействия зарядов;

Зона интенсивного дробления находится суммированием двух таких радиусов и диаметра зарядной камеры (скважины): $B_i = d_{скв} + 2R_i = 2(r_o + R_i)$, м. (9)

Исходя из классификации горных пород по шкале проф. М.М. Протодьяконова, средних значений предельных сопротивлений пород на сжатие ($\sigma_{сж}$) и скалывание ($\sigma_{ск}$) и единичных усредненных масс скважинных зарядов (Q) рассчитаны радиусы (R_i) и зоны (B_i) интенсивного дробления горных пород скважинными зарядами $\varnothing=110, 130$ и 150 мм при глубинах рыхления (траншей) от $1,0$ до $5,0$ м в горных породах в 5-ти категориях (I, II, III, IIIa, IV и IVa) и на их основе разработан метод выбора эффективных рациональных параметров БВР при проведении траншей при одно-, двух- и многорядном продольном расположении скважинных зарядов.

Для расчетов параметров буровзрывных работ принят за **основу** короткозамедленный способ взрывания.

При проведении траншей шириной по дну от 0,5 до 3 м и глубиной до 5 м взрыв работает в условиях зажима горных пород, особенно при однодвухрядном продольном расположении скважинных зарядов ВВ.

При однорядном продольном расположении зарядов ВВ механизм их взаимодействия оказывает влияние в направлении только вдоль главной оси траншеи; в поперечном направлении он не действует из-за усиленного зажима горных пород. Поэтому при определении параметров БВР расстояние между скважинами в продольном ряду принимается с учетом коэффициента взаимодействия $K_{вз}$ равным 1,2–1,4 (в зависимости от степени крепости горных пород), а ширина действия зарядов по дну (B_d) рассчитывается без влияния соответствующего коэффициента $K_{вз}$.

При двухрядном продольном расположении зарядов ВВ между зарядами в поперечном ряду также учитывается коэффициент взаимодействия зарядов ВВ.

При трех и более многорядном продольном расположении скважин влияние условий зажима почти не оказывается. В этих случаях коэффициент зажима приравнивается к единице. При двухрядном продольном расположении зарядов коэффициент зажима увеличивается на 10 %, а при однорядном – на 30 %.

За базовый удельный расход ВВ принят удельный расход эталонного взрывчатого вещества – аммонита № 6ЖВ при взрывании в траншее глубиной 5,0 м по крепким породам III-ей степени – гранитам или диоритам с диаметром заряда ВВ $d_0=110$ мм, удельным расходом ВВ – $g = 1,0$ кг/м³, с коэффициентом зажима $K_3=1$, с тремя продольными рядами скважинных зарядов.

Расчет удельного расхода ВВ основан на сравнении величин B_i – зон интенсивного дробления. Чем крепче порода и чем мельче траншея, тем больше расчетный и фактический удельный расход ВВ. При этом учитывается фактор работы скважинных зарядов, работающих в условиях зажима (K_3).

Расчет параметров буровзрывных работ при проведении траншей с одно-, двух и более многорядном, продольном расположении скважинных зарядов ВВ ведется по единому принципу: расстояние между поперечными рядами (a) принимается равной зоне интенсивного дробления (B_i) с учетом коэффициента взаимодействия зарядов $K_{вз}$, т.е. $a = B_i \cdot K_{вз}$, м. (рис. 2).

– расстояние между продольными рядами (b) рассчитывается исходя из объема горной массы, приходящейся на одну скважину – при двух, трех- и многорядном продольном расположении зарядов;

– объем горной массы (V), приходящей на 1 скважину производится по формулам:

– при однорядном продольном расположении скважинных зарядов ВВ;

$$V_I = aH(B_i + H \operatorname{ctg} \alpha = B_i \cdot K_{B3} H(B_i + H \operatorname{ctg} \alpha), \text{ м}^3 \quad (10)$$

– при двухрядном продольном расположении скважинных зарядов ВВ;

$$V_{II} = aH \frac{B_i + B_i K_{B3} + H \operatorname{ctg} \alpha}{2} = B_i K_{B3} H \frac{B_i + B_i K_{B3} + H \operatorname{ctg} \alpha}{2}, \text{ м}^3 \quad (11)$$

– при трехрядном продольном расположении скважинных зарядов ВВ;

$$V_{III} = aH \frac{B_i + 2B_i K_{B3} + H \operatorname{ctg} \alpha}{3} = B_i K_{B3} H \frac{B_i + 2B_i K_{B3} + H \operatorname{ctg} \alpha}{3}, \text{ м}^3 \quad (12)$$

Массы скважинных зарядов (Q) определяются произведением удельного расхода ВВ (q) на объем горной массы от одной скважины (V). На основании этих расчетов производится определение эффективных параметров буровзрывных работ при проведении траншей при одно-, двух- и трехрядном продольном расположении скважинных зарядов ВВ эталонного ($d = 110$ мм) и смежных ($d = 130$ и 150 мм) диаметров, с учетом взаимодействия смежных зарядов ВВ.

В таблице 1 приведены рекомендуемые эффективные параметры буровзрывных работ для эталонного (110 мм) диаметра при однорядном расположении скважинных зарядов, с учетом коэффициентов взаимодействия смежных зарядов (K_{B3}), зажима (K_3) горных пород и глубины (K_r) рыхления (траншей).

Аналогичные параметры БВР разработаны для $d_{скаб} = 110$ мм при двух- и трехрядном продольном расположении скваженных зарядов и для $d_{скаб} = 130$ и 150 мм при одно-, двух- и трехрядном продольном расположении скважинных зарядов, с учетом коэффициентов K_{B3} , K_3 , K_r .

Таблица 1

**Рекомендуемые параметры БВР (при $d_{\text{св}} = 110$ мм),
при однорядном продольном расположении скважинных зарядов,
с учетом коэффициентов $K_{вз}$, K_3 и K_1**

Категория пород, угол откоса траншеи, α	Глубина траншеи, H , м	Длина скважины, L , м	Расстояние между скважинами, м		Объем горной массы от 1 скважины, V , м ³	Удельный расход ВВ, q , кг/м ³	Масса заряда на 1 скважину, Q , кг	Длина		Коэффициент		Выход горной массы с 1 п.м. скважины, P , м ³ /м
			Продольными скважинами, b , м	Поперечными рядами скважин, a , м				Заряд, м	Забой, м	Заряд, да, изар	Забой, ки, изаб	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I-II В высшей степени и очень крепкие породы. Диабаз, Габбро, Кварцит $\alpha = 80^\circ$ $K_{вз}=1,2$	1,0	1,0	0,75	0,9	0,84	4,5	3,8	0,44	0,56	0,44	0,56	0,84
		1,5	0,85	1,0	0,93	3,65	3,4	0,4	1,1	0,27	0,73	0,62
	2,0	2,0	0,95	1,1	2,86	2,8	8,0	0,93	1,07	0,47	0,53	1,43
		3,0	1,1	1,3	6,35	2,0	12,7	1,48	1,52	0,49	0,51	2,12
	3,0	3,0	1,1	1,3	6,35	2,0	12,7	1,48	1,52	0,49	0,51	2,12
		4,25	1,25	1,5	12,0	1,75	21,0	2,44	1,81	0,58	0,42	2,82
	4,0	4,0	1,2	1,45	11,05	1,8	19,9	2,31	1,69	0,58	0,42	2,77
		5,5	1,35	1,6	20,4	1,5	30,6	3,56	1,94	0,65	0,35	3,71
	5,0	5,0	1,25	1,5	16,0	1,5	24,77	2,88	2,12	0,58	0,42	3,2
		7,0	1,5	1,8	34,4	1,15	39,6	4,6	2,4	0,66	0,34	4,92
III Крепкие. Диорит, Гранит. $\alpha = 75^\circ$ $K_{вз}=1,3$	1,0	1,0	0,8	1,05	1,12	3,6	4,04	0,47	0,53	0,47	0,53	1,12
		1,5	1,0	1,3	2,73	2,35	6,45	0,75	0,75	0,5	0,5	1,82
	2,0	2,0	1,0	1,3	4,0	2,15	8,6	1,0	1,0	0,5	0,5	2,0
		3,0	1,2	1,55	7,82	1,55	12,1	1,4	1,6	0,47	0,53	2,61
	3,0	3,0	1,2	1,55	7,82	1,55	12,1	1,4	1,6	0,47	0,53	2,61
		4,25	1,3	1,7	18,1	1,35	24,44	2,84	1,41	0,69	0,31	4,26
	4,0	4,0	1,3	1,7	16,13	1,4	22,59	2,63	1,37	0,66	0,34	4,03
		5,5	1,45	1,85	29,75	1,1	33,0	3,85	1,65	0,7	0,3	7,05
	5,0	5,0	1,4	1,8	24,66	1,2	29,6	3,44	1,56	0,69	0,31	4,93
		7,0	1,6	2,1	51,1	0,9	46,0	5,34	1,66	0,76	0,24	7,3

Категория пород, угол откоса траншеи, α	Глубина траншеи, H, м	Длина скважины, L, м	Расстояние между		Объем горной массы от 1 скважины, V, м³	Удельный расход ВВ, q, кг/м³	Масса заряда на 1 скважину, Q, кг	Длина		Коэффициент		Выход горной массы с 1 п.м. скважины, P, м³/м
			Продольными рядами скважин, b, м m=B = Bi	Поперечными рядами скважин в ряду, a, м				Заряда, m	Забойки, m	Заряда, m	Забойки, m	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
III _a Крепкие. Известняк, доломит.	1,0	1,0	0,85	1,1	1,23	3,15	3,88	0,45	0,55	0,45	0,55	1,23
	1,0	1,5	1,05	1,35	2,94	2,2	6,45	0,75	0,75	0,5	0,5	1,96
	2,0	2,0	1,1	1,45	4,75	1,8	8,6	1,0	1,0	0,5	0,5	2,38
	2,0	3,0	1,25	1,65	10,17	1,35	13,73	1,6	1,4	0,53	0,47	3,39
	3,0	3,0	1,25	1,65	10,17	1,35	13,73	1,6	1,4	0,53	0,47	3,39
	3,0	4,25	1,4	1,8	19,94	1,15	22,93	2,67	1,58	0,63	0,37	4,69
α = 75° Kвз = 1,3	4,0	4,0	1,35	1,75	16,96	1,2	20,35	2,37	1,63	0,59	0,41	4,24
	4,0	5,5	1,5	1,95	31,9	1,0	31,9	2,75	2,75	0,5	0,5	5,8
	5,0	5,0	1,45	1,9	26,51	1,05	27,83	3,24	1,76	0,65	0,35	5,3
IV	7,0	7,0	1,7	2,2	55,07	0,8	44,0	5,1	1,9	0,73	0,27	6,28
	1,0	1,0	0,95	1,75	1,77	1,95	3,45	0,4	0,6	0,4	0,6	1,77
	1,5	1,5	1,25	1,75	4,72	1,35	6,45	0,75	0,75	0,5	0,5	3,15
Довольно крепкие. Песчаник.	2,0	2,0	1,25	1,75	6,92	1,20	8,31	0,96	1,04	0,48	0,52	3,46
	2,0	3,0	1,35	1,9	13,92	0,85	11,83	1,4	1,6	0,46	0,54	4,64
	3,0	3,0	1,35	1,9	13,92	0,85	11,83	1,4	1,6	0,46	0,54	4,64
	3,0	4,25	1,55	2,2	28,96	0,75	21,72	2,52	1,73	0,59	0,41	6,82
	4,0	4,0	1,5	2,1	24,83	0,75	18,63	2,17	1,83	0,54	0,46	6,21
	4,0	5,5	1,65	2,3	46,2	0,63	29,1	3,38	2,17	0,62	0,38	8,4
α = 70° Kвз = 1,4	5,0	5,0	1,6	2,25	45,25	0,65	29,42	3,42	1,58	0,68	0,32	9,05
	5,0	7,0	1,8	2,5	76,09	0,5	38,05	4,42	2,58	0,63	0,37	10,87
	1,0	1,0	1,1	1,55	2,27	1,65	3,75	0,44	0,56	0,44	0,56	2,27
IV _a Довольно крепкие. Сланцы.	1,5	1,5	1,45	2,05	6,14	1,05	6,45	0,75	0,75	0,5	0,5	4,09
	2,0	2,0	1,4	1,95	8,3	1,05	8,6	1,0	1,0	0,5	0,5	4,15
	2,0	3,0	1,6	2,25	18,17	0,75	13,63	1,59	1,41	0,53	0,47	6,06
	3,0	3,0	1,6	2,25	18,17	0,75	13,63	1,59	1,41	0,53	0,47	6,06
	3,0	4,25	1,75	2,45	34,3	0,63	21,63	2,52	1,73	0,59	0,41	8,08
	4,0	4,0	1,7	2,4	30,3	0,65	19,7	2,29	1,71	0,57	0,43	7,58
α = 70° Kвз = 1,4	4,0	5,5	1,9	2,65	56,87	0,5	28,44	3,3	2,2	0,6	0,4	10,34
	5,0	5,0	1,85	2,6	47,71	0,55	26,24	3,05	1,95	0,61	0,39	9,54
	5,0	7,0	2,05	2,9	93,34	0,4	37,4	4,34	2,66	0,62	0,38	13,33

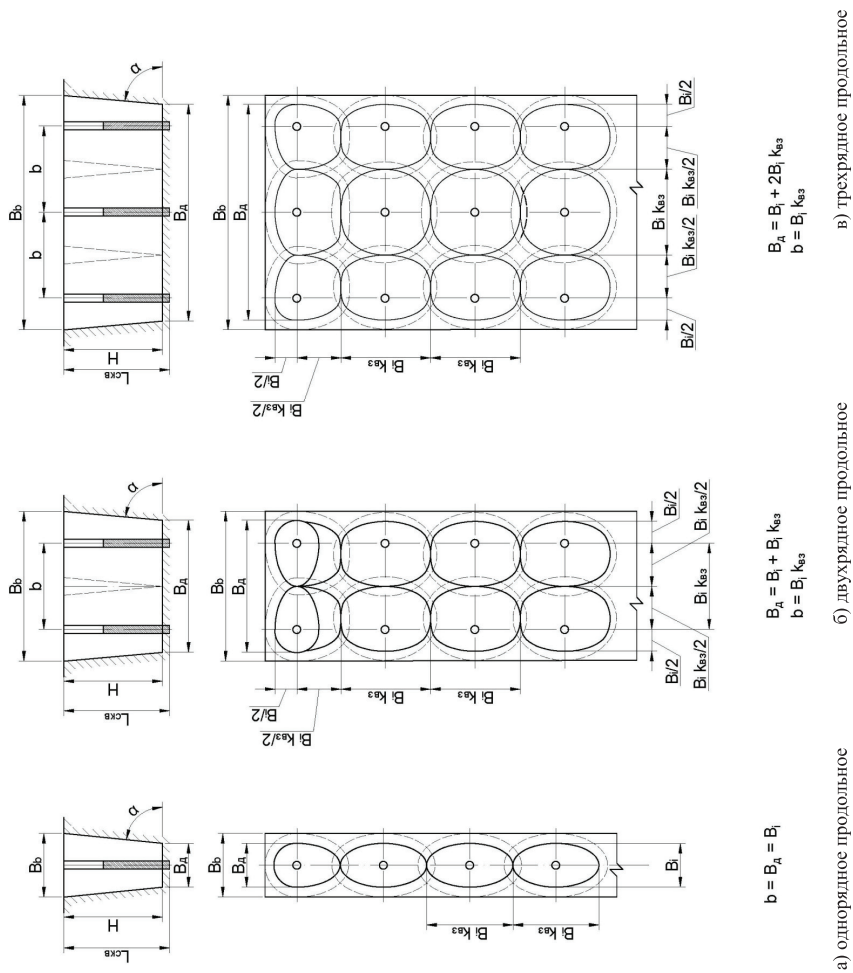


Рис. 2. Расположение скважинных зарядов в траншеях

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ И СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

Р.И. Сухов, А.С. Реготунов

Информацию о прочностных и структурных особенностях горных массивов, подлежащих взрывному разрушению возможно получить в процессе бурения взрывных скважин. Уточнённые при бурении данные о состоянии пород позволяют повысить достоверность информации и точность расчётов при проектировании технологических взрывов, и, следовательно, более рационально управлять расходом материальных ресурсов при ведении БВР.

Физическая основа метода оценки прочностных свойств горных пород при шарошечном бурении состоит в том, что крутящий момент, создаваемый двигателем вращателя пропорционален моменту сопротивления разрушению забоя при движении долота в скважине. Момент сопротивления движению долота пропорционален прочности породы и силам сопротивления, преодолеваемым механизмом вращателя. Таким образом, для оценки пород по прочности необходимо провести измерения величины крутящего момента двигателя вращателя в процессе бурения взрывных скважин.

Для этого в Институте горного дела УрО РАН совместно со специалистами НПО «Автоматика» был разработан опытный образец устройства для регистрации электрических параметров основных двигателей бурового станка в процессе проходки скважин. В состав аппаратуры входят: панель оператора, источники питания, модуль преобразования сигналов и датчики.

Процесс измерения представлен в виде блок-схемы (рис. 1). Согласно рис. 1 по проекту на буровзрывные работы определяется необходимое число скважин на блоке. Далее в процессе бурения каждой скважины датчики устройства фиксируют изменения параметров работы станка. На основе полученной информации определяется энергоёмкость разрушения породы при бурении с учетом необходимых поправок. Затем установленные значения энергоёмкости передаются в вычислительный центр, где используются для построения цифровой модели для оперативного уточнения расположения пород и руд с различной крепостью в границах локального блока массива.

Апробация аппаратуры осуществлялась в условиях карьеров ОАО «Ураласбест» при бурении взрывных скважин буровым станком шарошечного типа СБШ-250МНА-32 (№350) в породах различной категории буримости.

Сухов Рудольф Иванович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ИГД УрО РАН, Екатеринбург

Реготунов Андрей Сергеевич – младший научный сотрудник ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург

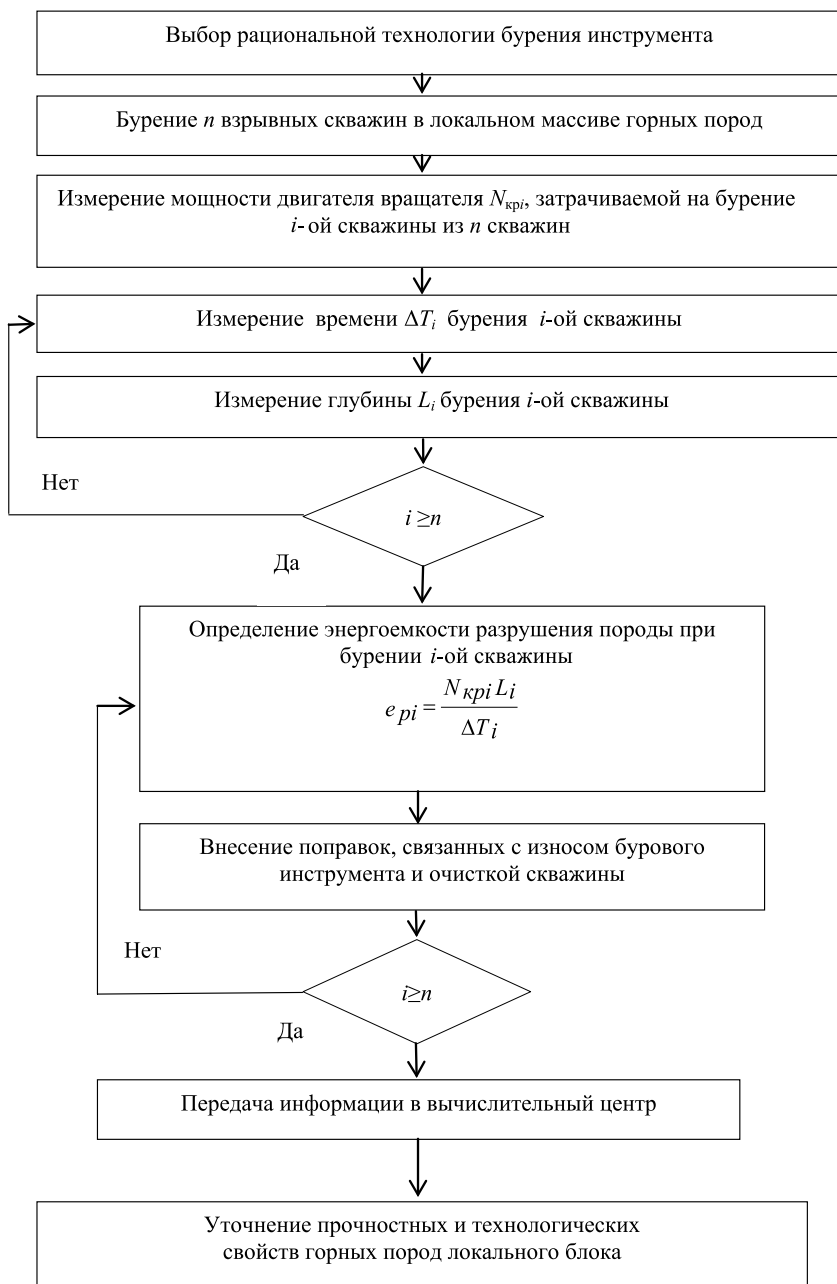


Рис. 1 – Блок–схема определения энергоемкости при бурении пород локального блока массива

В процессе измерения удельной энергоёмкости бурения на карьерах ОАО «Ураласбест» получен большой объем наблюдений в породах различного структурного и петрографического состава. В результате анализа исследований установлено, что буровой станок СБШ – 250 МНА – 32 на бурение 1 метра скважины глубиной 18 метров расходует в среднем 134 кВт-ч электроэнергии. Из них на вспомогательные операции приходится около 20 кВт-ч. При этом энергоёмкость бурения взрывной скважины в среднем составляет 7,4 кВт-ч/м.

Измерения также показали, что на участках массива, сложенных породами одного типа, значения удельной энергоёмкости бурения колеблются в широких пределах. На рис. 2 представлена диаграмма изменения скважин по средней энергоёмкости их бурения на опытном блоке № 1. На блоке № 1 породы имели достаточно высокие значения энергоёмкости разрушения в диапазоне от 3 до 5 кВт-ч/м при бурении взрывных скважин № 1–3.

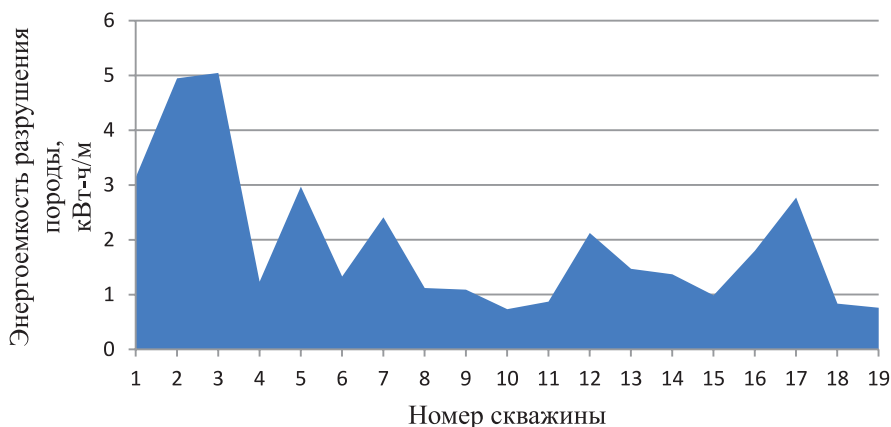


Рис. 2 – Диаграмма изменения энергоёмкости бурения взрывных скважин на опытном блоке №1

В результате взрыва блока остался непроработанный участок, сложенный диоритом (рис.3), наличие которого было установлено анализом данных с бурового станка до начала взрывных работ(скважины № 1–3). Основными факторами, определяющими широкий диапазон изменения удельной энергоёмкости разрушения породы на опытных блоках, являются неоднородность, перемежаемость массива горных пород и влияние зон технологической нарушенности.



Рис. 3 – Опытный блок № 1 после взрыва с неразрушенным участком из диорита

На рис. 4 приведена кривая распределения скважин по удельной энергоёмкости бурения в локальном массиве горных пород на опытном блоке № 1.



Рис. 4 – Распределение пород на опытном блоке № 1

Анализ показывает, что из общего объёма скважин на экспериментальном блоке 26,3 % приходится на породы с энергоёмкостью до 1 кВт·ч/м, 36,9 % скважин пройдены по породам с энергоёмкостью от 1,1 до 2 кВт·ч/м; 36,8% скважин пробурены по породам свыше 2 кВт·ч/м.

На рисунках 5 и 6 представлены диаграмма и кривая распределения скважин по удельной энергоёмкости бурения в локальном массиве горных пород на опытном блоке № 2.

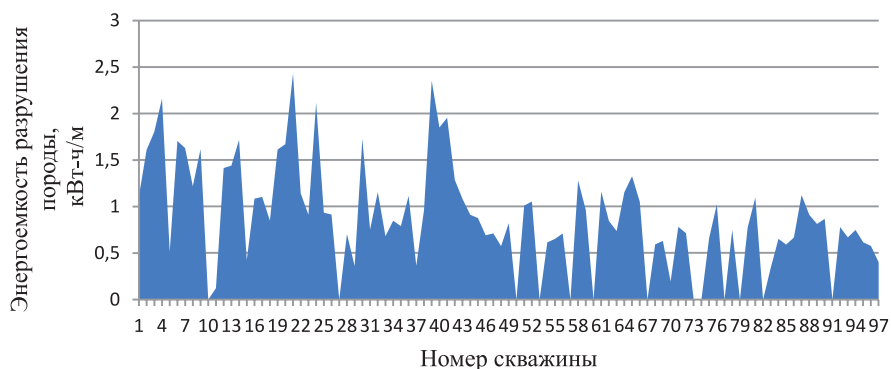


Рис. 5 – Диаграмма изменения энергоёмкости бурения взрывных скважин на опытном блоке № 2

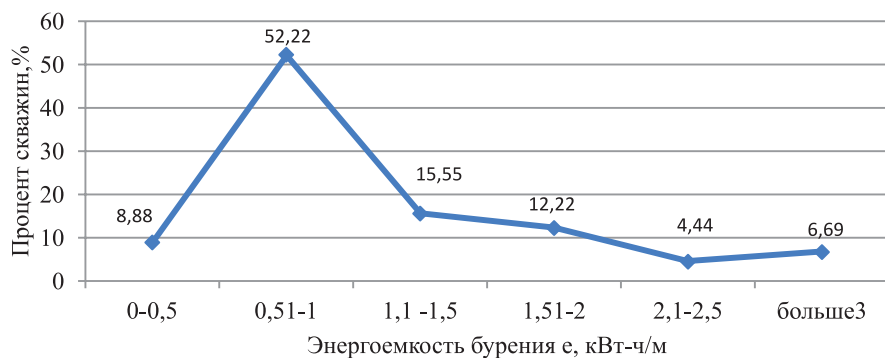


Рис. 6 – Распределение пород на опытном блоке № 2

Анализ рисунков 5 и 6 показывает, что 52,2 % приходится на породы низкой крепости (VIII-XIII) с удельной энергоёмкостью менее 1 кВт-ч/м, 27,77 % пород обладают энергоёмкостью бурения 1-2 кВт-ч/м и 11,13 % – энергоёмкостью бурения свыше 2 кВт-ч/м. Сравнивая графики на рисунках 4 и 6 можно сделать вывод о том, что в опытном блоке № 1 содержалось больше крепких пород с энергоёмкостью больше 2 кВт-ч/м. На повышение доли скважин с энергоёмкостью более 2 кВт-ч/м, пробуренных в крепких породах на опытном блоке №1 повлияло наличие в массиве участка, сложенного диоритами (рис. 3), на проходку которого буровой станок затратил повышенную мощность двигателя вращателя.

На рис. 7 приведён график, отражающий взаимосвязь механической скорости бурения и энергоёмкости разрушения породы при бурении взрывных скважин на опытном участке № 2.

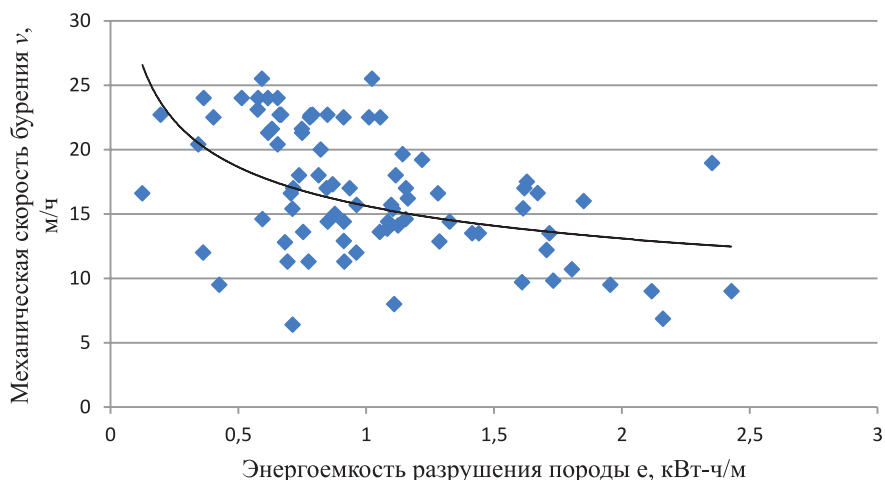


Рис. 7 – Взаимосвязь механической скорости бурения и энергоёмкости разрушения породы при бурении

В результате исследований было получено уравнение корреляционной связи удельной энергоёмкости и механической скорости бурения. Эксперимент показал, что взаимосвязь исследуемых величин выражается степенной функцией вида $v = 15,6e^{0,255}$ с коэффициентом корреляции $R=0,41$. В результате анализа установлено, что с увеличением скорости бурения энергоёмкость снижается.

Работы [1 – 2] подтверждают существование упомянутой взаимосвязи между скоростью бурения и энергоёмкостью с достаточно высокими коэффициентами корреляции для различных по прочности пород.

Авторы работ [1 – 2] установили, что для пород разного петрографического состава, но имеющих одинаковую категорию буримости, то есть одинаковую механическую скорость бурения, требуются различающиеся в 1,5 – 2,0 раза затраты энергии на разрушение при бурении их одним типоразмером долота. Поэтому установленная взаимосвязь в результате исследований на карьерах ОАО «Ураласбест» носит объективный характер, а разброс точек обусловлен различиями в петрографическом составе пород.

Согласно методике, изложенной в [3] построена плоская модель участка локального массива горных пород по пробуренным скважинам № 10–15 на опытном блоке № 2.

Анализ рис. 8 показал, что изменение пород по показателю трудности бурения Π_6 по В.В. Ржевскому варьируется от 1 ед. до 8 ед. и может быть объяснено влиянием перемежаемости пород и зон технологической нарушенности.

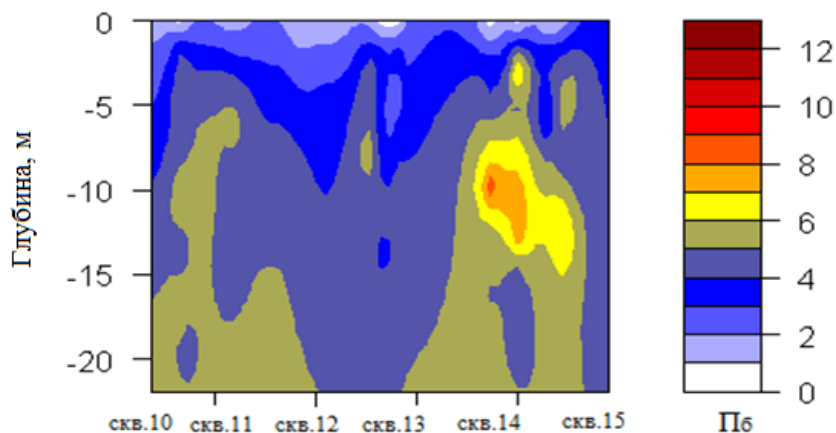


Рис. 8 – Модель распределения пород по глубине блока.

Π_6 – показатель трудности бурения В.В Ржевского

Результатами апробации опытного образца устройства в условиях карьеров ОАО «Ураласбест» доказана работоспособность устройства и получены сведения для его улучшения. В 2015 г. разработана усовершенствованная версия устройства и программа для анализа записываемой устройством информации. Устройство дополнительно оснащено аппаратурой беспроводной связи для передачи данных на сервер технического отдела комбината.

Результаты хронометражных наблюдений за процессом бурения скважины позволили в программе обработки данных разработать процедуру разделения операций чистого бурения от вспомогательных и подготовительно-заключительных.

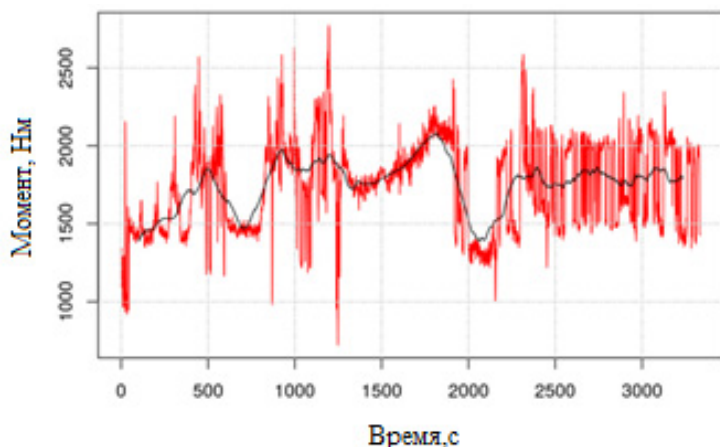


Рис. 9 – Диаграмма изменения момента на долото во времени

Улучшенная версия программы обработки данных предусматривает определение для любой скважины блока текущих значений режимных параметров станка при бурении любой скважины (рис. 9). Программа позволяет провести статистический анализ полученных данных, а также построить диаграмму изменения показателей трудности бурения по акад. В.В. Ржевскому, контактной прочности и энергоёмкости разрушения во времени и по глубине скважины (рис. 10). В настоящее время устройство и способ его использования находятся под правовой защитой: подана и рассматривается в «Федеральном институте промышленной собственности» заявка на изобретение.

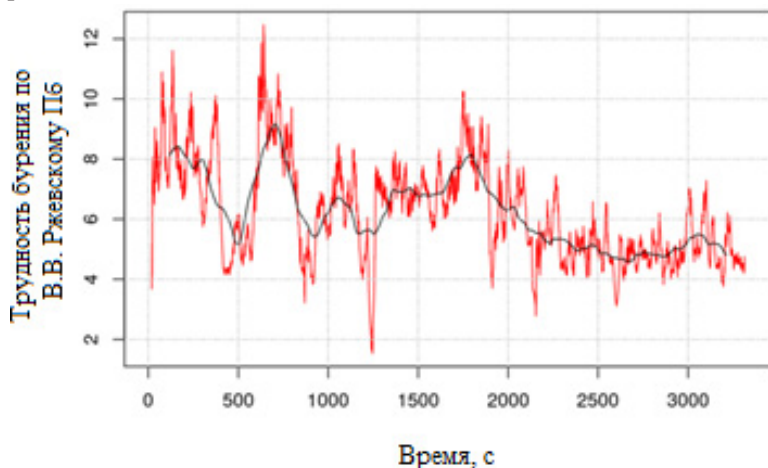


Рис. 10 – Диаграмма изменения показателя трудности бурения В.В.Ржевского

Эффект от применения комплекса обеспечит снижение затрат на буровзрывные работы в 1,2 – 1,3 раза и улучшение качества дробления горного массива. Результаты работы могут быть применены на большинстве горнодобывающих предприятий России и ближнего Зарубежья, разрабатывающих твердые полезные ископаемые, а также при проходке тоннелей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сухов Р.И., Шахматов Д.С., Паньков И.В., Ивановский С.В., Вереса А.Ф./Об удельной энергоёмкости разрушения горных пород при бурении взрывных скважин// Горный журнал. – 1991. – №3. – С. 26-28, М.
2. Паньков И.В. Исследование взаимосвязи механической скорости бурения с удельной энергоёмкостью разрушения пород// Разработка руд черных металлов: сб. научн.тр./ИГД МЧМ СССР. –1989. – № 88. – С.66-71.– Свердловск.
3. Геостатистический анализ данных в экологии и природопользовании (с применением пакета R): Учебное пособие / Савельев А.А., Мухарамова С.С., Пилюгин А.Г., Чижикина Н.А. – Казань: Казанский университет, 2012. – 120 с.

О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В СКАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ ПРИ УДАРНО-ПОВОРОТНОМ БУРЕНИИ КОРОНКОЙ ШТЫРЕВОГО ТИПА

Реготунов А.С.

Для бурения шпуров и скважин в скальных горных породах на горнодобывающих предприятиях применяется ударно-поворотный способ бурения. Прогрессивным при этом способе бурения является коронка штыревого типа, разрушающая горную породу забоя воздействием твердосплавных штырей (инденторов), размещенных на рабочей поверхности.

Напряженное состояние, возникающее от каждого в отдельности индентора в скальной горной породе достаточно полно изучено [1-3]. Однако коронки штыревого типа реализуют контакт с породой группы одиночных сближенных инденторов в условиях наличия свободных поверхностей скола в забое скважины от предыдущих ударов. Закономерности распределения напряжений в скальной горной породе при таком виде контакта недостаточно изучены. Тем не менее, исследования показали, что сближение одиночных инденторов на определенное расстояние создает общее поле напряжений в пространстве между внедряемыми инденторами. Размещая инденторы на некотором рациональном расстоянии до образующихся свободных поверхностей скола, возможно обеспечить их повышенную концентрацию вблизи от края свободной поверхности, что в конечном итоге приводит к разрушению единицы объема породы с меньшими затратами энергии удара.

Таким образом, анализ ранее выполненных исследований [4-6] показал, что экспериментальные исследования напряженного состояния, возникающего в скальной горной породе под воздействием буровой коронки штыревого типа фрагментарны и не дают целостного представления о закономерностях изменения напряжений в зависимости от расположения точек удара.

В связи с изложенным, необходимо выявить общие закономерности распределения напряжений, возникающих в скальной горной породе в результате удара инденторов, сближенных между собой, а также удара коронки вблизи от края свободной поверхности скола.

Для выявления закономерности распределения напряжений в скальной горной породе ударом буровой коронки на участках забоя, удаленных от свободной поверхности достаточно установить закономерности для двух инденторов, поскольку каждый индентор, размещенный на поверхности коронки образует как минимум две пары с соседними инденторами, а все множество инденторов может быть разделено на определенное количество пар. После каждого удара буровой инструмент поворачивается на определенный угол, в результате чего каждый размещенный на его рабочей поверхности инден-

тор оказывается на некотором расстоянии до свободной поверхности скола в забое шпура (скважины), образованной предыдущим ударом. Поэтому закономерности распределения напряжений, установленные для случая удара одиночного индентора вблизи от края свободной поверхности, окажутся применимыми для всех участков породы забоя шпура (скважины), находящихся вблизи от свободной поверхности, на которые воздействует буровая коронка.

Для достижения поставленной цели применялось фотоупругое моделирование, основы которого изложены в работе [7]. Эксперимент по фотоупругому моделированию проводился в два этапа. На первом этапе исследовались распределения напряжений в модели, возникающие при воздействии пары инденторов, расположенных на различном относительном расстоянии друг от друга L_n/d : 1, 2, 3, 4, а на втором этапе исследовались распределения напряжений в модели, имеющей предварительно образованную свободную поверхность. Модель подвергалась нагружению одиночного индентора, размещаемого на различном расстоянии от свободной поверхности L_k/d : 0,5, 1, 2, 3.

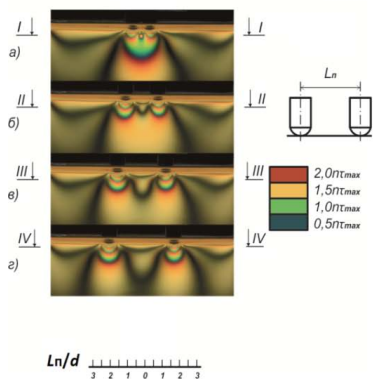
Концентрация максимальных касательных напряжений в модели характеризовалась в безразмерных единицах коэффициента распределения напряжений k , определяемого согласно выражению

$$k = \frac{\tau_{\max n}}{\tau_{\max 1}},$$

где $\tau_{\max n}$ – максимальные касательные напряжения в точках полосы с порядком n , МПа; $\tau_{\max 1}$ – максимальные касательные напряжения в точках полосы первого порядка, МПа.

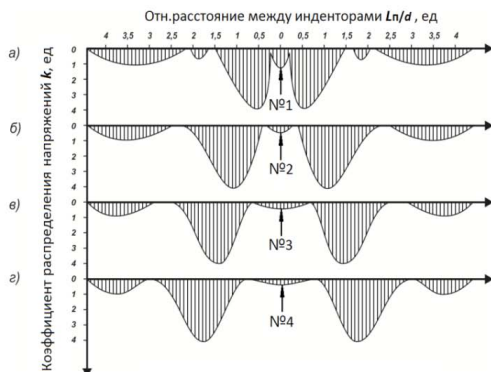
На рис. 1 приведены результаты исследования закономерности пространственного распределения максимальных касательных напряжений при одновременном внедрении инденторов на относительном межосевом расстоянии L_n/d от 1 до 4. Для каждого варианта размещения инденторов проведены горизонтальные сечения I-I, II-II, III-III, IV-IV на одинаковой глубине от поверхности модели. Графики изменения коэффициента распределения напряжений k в горизонтальных сечениях модели приведены на рис. 2.

Из анализа графиков следует, что в результате действия ударной волны максимальные касательные напряжения при любом относительном расстоянии L_n/d между ними из диапазона 1–4 принимают наибольшую величину в области породы, находящейся непосредственно под инденторами. По мере удаления инденторов друг от друга, в точках 1–4, принадлежащих области между ними, касательные напряжения снижаются согласно экспоненциальной зависимости с длиной релаксации 0,85, выраженной в относительных долях диаметра индентора (рис. 3). При относительном расстоянии между инденторами, превышающем 4, распределение напряжений приобретает независимый характер (рис. 1, з).



L_{II}/d : а – 1; б – 2; в – 3; г – 4

Рис. 1 – Оптическая картина распределения максимальных касательных напряжений при различном относительном расстоянии между инденторами L_{II}/d



а – I-I; б – II-II; в – III-III; г – IV-IV

Рис. 2 – Графики изменения коэффициента распределения напряжений k в горизонтальных сечениях модели

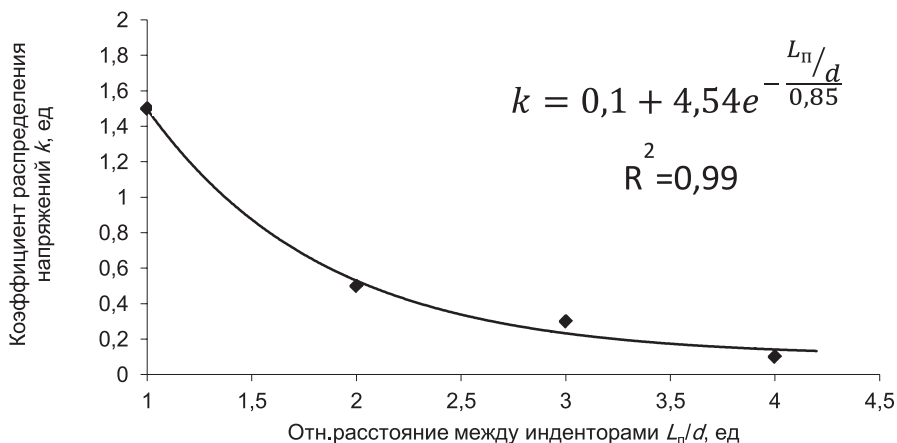
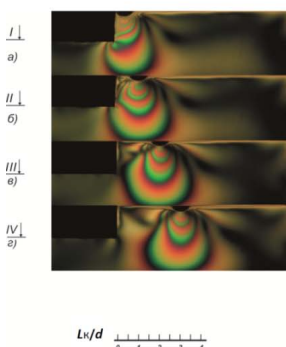


Рис. 3 – Зависимость коэффициента распределения напряжений k от относительного расстояния между инденторами L_{II}/d

На рис. 4 приведены результаты исследования закономерности распределения максимальных касательных напряжений при ударе индентора, размещенного на различном удалении от свободной поверхности скола. Для каждого варианта размещения инденторов проведены горизонтальные сечения I-I, II-II, III-III, IV-IV на одинаковой глубине от поверхности модели.

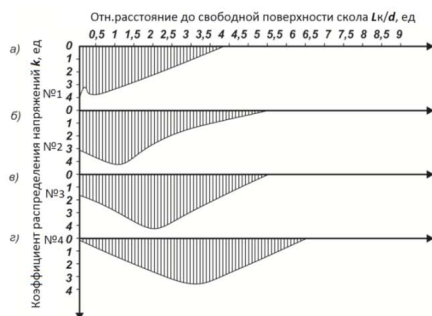
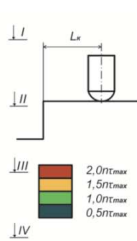
Анализ графиков изменения коэффициента распределения напряжений k (рис. 5) в горизонтальных сечениях показывает, что при размещении инденторов на относительном расстоянии L_k/d в диапазоне от 0,5 до 3 касательные напряжения принимают наибольшую величину в области породы, находящейся под индентором.

При увеличении расстояния от индентора до свободной поверхности скола относительные касательные напряжения в точках 1–4, расположенных в области, прилегающей к свободной поверхности, уменьшаются согласно установленной экспоненциальной зависимости (рис. 6) с длиной релаксации 9,17, выраженной в относительных долях диаметра индентора.



L_k/d : а – 0,5; б – 1; в – 2; г – 3

Рис. 4 – Оптическая картина распределения максимальных касательных напряжений при различном расстоянии L_k/d от индентора до свободной поверхности



а – I-I; б – II-II; в – III-III; г – IV-IV

Рис. 5 – Графики изменения коэффициента распределения напряжений k в горизонтальных сечениях модели

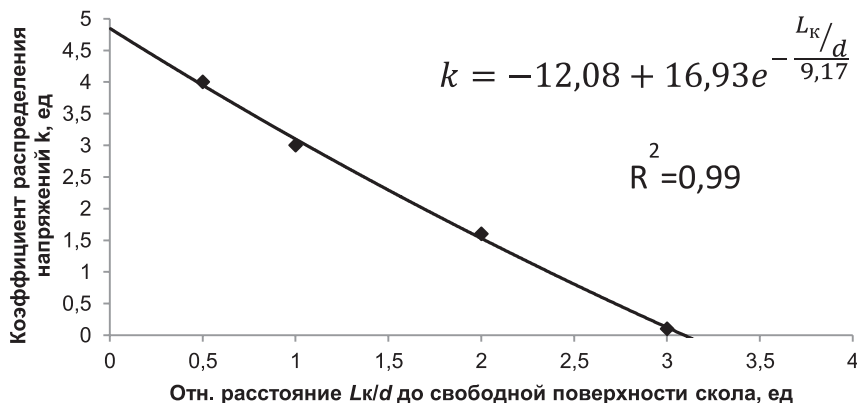


Рис. 6 – Зависимость коэффициента k от относительного расстояния до свободной поверхности L_k/d

Влияние свободной поверхности прекращается при относительном расстоянии до нее, равном и более 3 (рис. 4, з), значение коэффициента k становится равным и меньше 0,1 (рис. 6).

ВЫВОДЫ

1. Относительные касательные напряжения в скальной горной породе при ударах инденторами в области между ними и в области, прилегающей к поверхности скола, по мере удаления от них инденторов уменьшаются согласно экспериментально установленным экспоненциальным зависимостям с коэффициентом детерминации 0,99 и соответствующими длинами релаксации 0,85 и 9,17, выраженными с учетом положения асимптот напряжений в относительных долях диаметра индентора.

2. Установленные результаты могут быть применены при разработке новых и совершенствовании применяемых конструкций бурового инструмента штыревого типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шрейнер Л. А. Механизм разрушения твёрдых горных пород и новые типы шарошечных долот / Л. А. Шрейнер, Н. Н. Павлова // «Нефтяное хозяйство. – 1954 – № 4. – С. 9–15.
2. Байдюк Б. В. Экспресс-методика определения передаточных отношений шарошек долот / Байдюк Б. В., Бугаев В. Н. //Техника и технология бурения. – М., 1971. – С. 44–48. – (Труды / ВНИИБТ. – Вып. 28).
3. Крюков Г. М. Физика разрушения горных пород при бурении и взрывании. Часть II. Разрушение горных пород при бурении / Г. М. Крюков. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 106 с.
4. Эйгелес Р. М. Расчет и оптимизация процессов бурения скважин / Р.М. Эйгелес, Р.В. Стрекалова. – М.: Недра, 1977. – 200 с.
5. Мавлютов М. Р. Разрушение горных пород при бурении скважин / М.Р. Мавлютов. – М., Недра, 1978, – 215 с.
6. Протасов Ю. И. Разрушение горных пород / Ю.И. Протасов. – 2-е изд., стер. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2001. – 453 с.
7. Фрохт М. М. Фотоупругость: в 2-х т. / М.М. Фрохт. – М.: Гостехиздат, 1948.

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ В УСЛОВИЯХ КАРЬЕРОВ ОАО «УРАЛАСБЕСТ»

А.А. Котяшев, Б.В. Пахряев, А.П. Русских

Подготовка пород и руд к выемке на карьерах комбината производится буровзрывным способом, который является одним из наиболее дорогостоящих технологических процессов при добыче минерального сырья. Доля затрат на БВР в условиях глубоких отечественных и зарубежных карьеров достигает в себестоимости добычи 1 т полезного ископаемого 30 % и более. С ростом глубины карьеров до 250–300 м и ухудшением гидрогеологических условий разработки Баженовского месторождения асбестовых руд, обводнённость локальных массивов достигла 90 %, в результате чего возникла большая потребность в дорогостоящих водоустойчивых взрывчатых веществах. Учитывая это, в 1991 году по заданию комбината ГосНИИ «Кристалл» разработал проект технологического процесса производства эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ), а именно: порэмита 1, а «Союзхимпромпроект» проект строительства завода по производству эмульсии (матрицы), который в начале 1994 года был сдан в эксплуатацию с производительностью 25 тыс.т в год. Ниже, на рисунке 1, приведена структура эмульсии порэмита 1А и возможное варьирование доли компонентов в составе матрицы. Все эмульсионные ВВ по своей структуре представляют конденсированные дисперсии водных растворов солей – окислителей в среде углеводородов, содержащих добавку эмульгатора.

Технологический процесс изготовления порэмита состоит из ряда последовательных операций, а именно: подготовки смесительно-зарядных машин и сырья, приготовления раствора окислителей и смеси нефтепродукта с эмульгатором, приготовления раствора газогенерирующей добавки, загрузка ГГД в смесительно-зарядную машину, изготовление эмульсии, загрузка эмульсии в СЗМ, переработка отходов производства и промывных вод, изготовление порэмита 1А в смесительно-зарядной машине в процессе заряжания скважин.

Эмульсия представляет собой смесь двух не растворяющихся друг в друге жидкостей. Процесс производства эмульсии заключается: в приготовлении на отдельных линиях – водного раствора окислителя и раствора эмульгатора в углеводородном горючем, доставка их в необходимом соотношении в блок эмульгирования и подача матричной эмульсии в бункер смесительно-зарядной машины. СЗМ доставляют эмульсию на подготовленный в карьере блок и в процессе заряжания скважин производится ввод в эмульсию компонен-

Котяшев Альберт Александрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИГД УрО РАН;

Пахряев Борис Васильевич – главный инженер предприятия Промтехвзрыв ОАО «Ураласбест» (г. Асбест);

Русских Александр Петрович – директор Промтехвзрыв ОАО «Ураласбест» (г. Асбест).

та, обеспечивающего образование в ней газовых пузырьков. Это делается для придания эмульсионной матрице детонационных свойств, то есть для превращения её во взрывчатое вещество.

Обычно для этой цели используется водный раствор нитрита натрия. В результате взаимодействия его с аммиачной селитрой окислителя образуется нитрат аммония, который в кислой среде при повышенной температуре смеси разлагается с образованием воды и газообразного азота. Введение раствора газогенерирующей добавки в эмульсию осуществляется с помощью специального насоса. Эмульсия проходит через турболизатор, который способствует равномерному распределению в ней капелек раствора ГГД. Затем эмульсия поступает по зарядному шлангу в скважину под столб воды, где и происходит её сенсибилизация, характеризующаяся образованием газовых пузырьков.

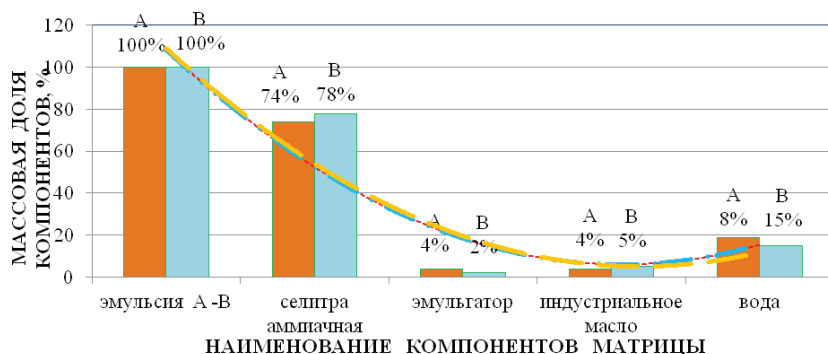


Рис. 1 Возможное варьирование доли компонентов в составе матрицы

Одним из основных звеньев буровзрывного комплекса является изготовление взрывчатых веществ из невзрывчатых компонентов в смесительно-зарядных машинах (СЗМ) вблизи мест их применения в процессе заряжания скважин или других полостей пробуренных в локальных массивах. От конструктивных особенностей и параметров СЗМ в значительной мере зависит производительность комплекса, продолжительность заряжания блоков и эффективность технологии взрывного разрушения горных пород в целом. Объемы производства и расхода порэмита в динамике приведены на рисунке 2.

Для изготовления ЭВВ – порэмита 1А, гранэмита И-30А и И-50А из невзрывчатых компонентов в процессе заряжания скважин на карьерах комбината использовались и используются смесительно-зарядные машины (СЗМ) различной грузоподъемности. Зарядка обводнённых скважин взрывчатыми смесями местного изготовления первоначально производилась механизированным способом с использованием СЗМ грузоподъемностью от 6,5 до 8 т, а именно: Нитро – Нобель, СЗМ-8, МЗВ-8, затем машинами МЗВ-10, МЗГ-10 и ТСЗМ-11 ПГ. Парк и марки СЗМ периода до 2012 года представлены в таблице 1.

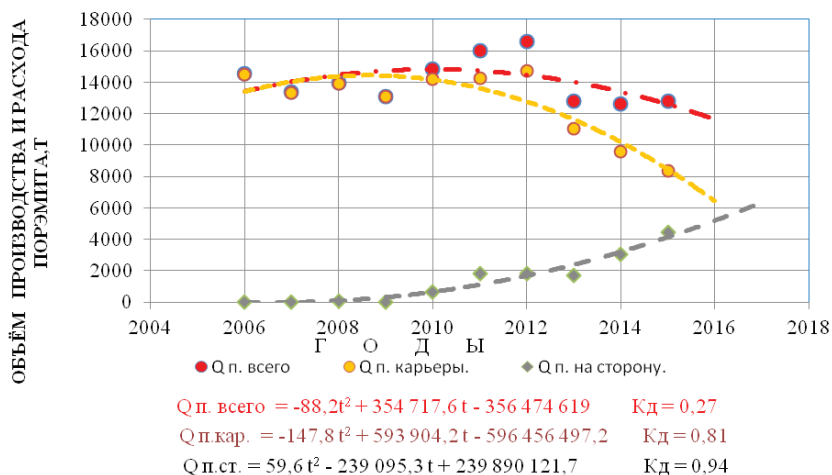


Рис. 2 Динамика объемов производства и расхода порэмита

За последние годы комбинатом были приобретены смесительно-зарядные машины грузоподъемностью 15 т (МЗВ – 15 и СЗГМ – 15Э) и «Доставщик невзрывчатых компонентов эмульсионных ВВ» (СЗГМ – 24 ДК), предназначенный для транспортирования, хранения и проведения сливноналивных операций в карьерных условиях вблизи мест зарядания скважин (фото 1, 2).

Опыт двадцатилетнего изготовления эмульсионных взрывчатых веществ в смесительно-зарядных машинах грузоподъемностью 6,5 – 15 тонн из невзрывчатых компонентов вблизи мест их применения для разрушения локальных массивов горных пород на асбестовых карьерах показал, что они имеют ряд достоинств, а именно: полную механизацию зарядки скважин на локальных блоках, низкую чувствительность к механическим и тепловым воздействиям, необходимую водостойчивость и, как следствие, высокую безопасность в обращении; экологически чистое безотходное производство, сравнительно низкую газовую вредность и относительно дешевую сырьевую базу.

Таблица 1

Парк и марка смесительно-зарядных машин

Марка	Год изгот.	Фирма – изготовитель СЗМ	Грузоподъемность, т	Марка ЭВВ
«Нитро – Нобель»	1987	Нитро – Нобель	6,5	Порэмит 1А
СЗМ-8 «Сибирь»	1992	Комбинат «Сибирь» (Абакан)	8,0	Порэмит 1А
МЗВ-8	1990	НИПИгормаш (Екатеринбург)	8,0	Порэмит 1А

Марка	Год изгот.	Фирма – изготовитель СЗМ	Грузоподъемность, т	Марка ЭВВ
МЗВ-8	1992	НИПИгормаш (Екатеринбург)	8,0	Порэммит 1А
МЗГ-10	1992	НИПИгормаш (Екатеринбург)	10,0	Гранэммит И-50А
МЗВ-10	2004	НИПИгормаш (Екатеринбург)	10,0	Порэммит 1А
ТСЗМ-11ПГ	2005	БЕЛгормаш (Белгород)	11,0	Гранэммит И-30А



Фото 1 Смесительно-зарядная машина СЗГМ-153 на экспериментальном блоке



Фото 2 Доставщик эмульсии порэмита и газогенирующей добавки в карьер

Технические характеристики смесительно-зарядных машин, которые эксплуатируются на карьерах ОАО «Ураласбест» в настоящее время приведены ниже в таблице 2.

Таблица 1

Характеристики СЗМ для изготовления порézмита 1А

№№ п.п.	Технические параметры	Марка смесительно-зарядных машин					
		МЗВ-8	МЗВ – 10	МЗВ-15	СЗГМ-83	СЗГМ-159	СЗГМ-24 ДК
1	Транспортная база	КрАЗ-256Б1	КрАЗ – 65053 – 02	Volvo FM 13	КАМАЗ – 65115	Volvo FMX D13	Volvo FMX 13 D13
2	Масса груза, т	8,75	10	15	8	15	25,85
3	Объем емкости для эмульсии, м³	7,3	10	15	7,3	15	26
4	Объем емкости для ГГД, м³	0,25	0,25	0,225	0,25	0,225	ГГД-0,22/0,32
5	Объем емкости для воды, м³	0,40	0,40	0,37	0,40	0,49	0,730
6	Масса снаряженной машины, т	13600	16240	16000	12000	18000	16000
7	Полная масса, т	24100	26240	31000	21000	33000	31000
8	Привод рабочих органов	гидравлический					
9	Производительность винтового насоса по закачке порézмита в скважину, кг/мин	300	300	300	300	300	300
10	Зарядный рукав: Диаметр , мм Длина, м	65 30	65 30	50 30	50 30	50 30	75 10
11	Габаритные размеры						ПМ
	Длина, мм	8400	9500	9200	8000	10000	7700
	Ширина, мм	2623	2500	2500	2550	2550	2500
	Высота, мм	3300	3250	3600	3500	3900	2600
12	Контроль загрузки порézмита в скважины	По числу оборотов винтового насоса, точность ±4 %					
13	Персонал, человек	2					
14	Разработчик и изготовитель	Институт и опытный завод ОАО «НИПИГОРМАШ» (Екатеринбург)		ООО «СпецГорМаш» (Екатеринбург)			

В 2015 году на карьерах комбината с использованием СЗМ было заряжено 16280 скважин на 216 локальных блоках и взорвано 9219 тыс. м³ скальных пород и руд. На рисунке 3 показана динамика этих показателей по месяцам, а на рисунке 4 тренды годовой производительности СЗМ на 1 т грузоподъёмности.

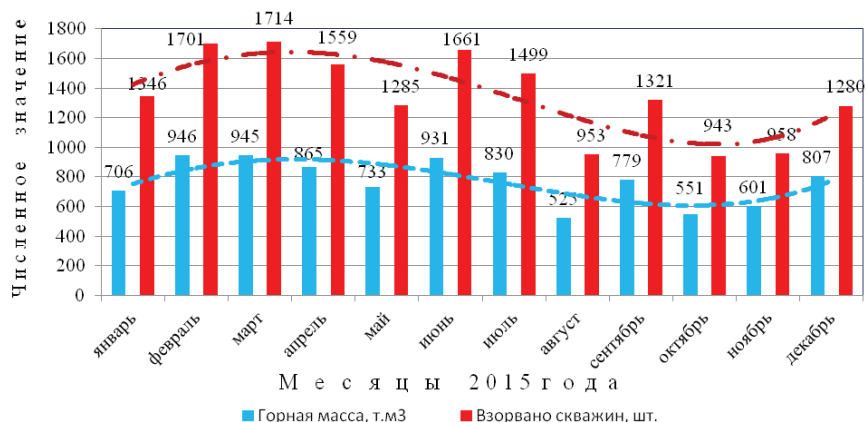


Рис. 3 Тренды варьирования количества взорванных скважин и выхода горной массы

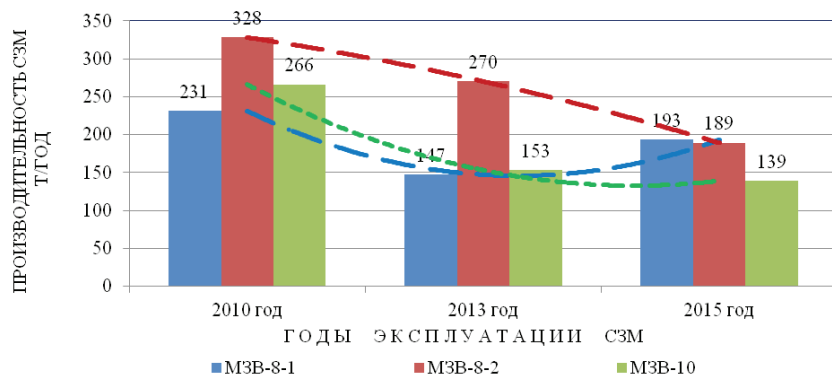


Рис.4 Тренды годовой производительности СЗМ на 1 т грузоподъёмности

Следует отметить, что для улучшения и стабилизации технологических и экономических показателей буровзрывного комплекса карьеров необходимо дальнейшее совершенствование техники и технологии разрушения массивов скальных горных пород, освоения и внедрения новых прогрессивных средств и способов заряжания скважин, позволяющих снизить затраты на подготовку горной массы к выемке и транспортированию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Русских А.П. Состояние и развитие взрывного комплекса ОАО «Уралабест» / А.П. Русских, Б.В. Пахряев, А.А. Котяшев, В.Г. Шеменев // Уральское горное обозрение: 11 (XXXII) горнопромышленный съезд: Электронное издание-журнал / Горнопромышленная ассоциация Урала. Институт горного дела УрО РАН. – Екатеринбург, 2011– С. 94 – 106.

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ МОБИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА И МЕХАНИЗИРОВАННОГО ЗАРЯЖАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ НА ТРАНСПОРТНОЙ БАЗЕ КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА

В.Х. Кантор, Г.И. Дегтярев, В.В. Жуликов

На открытых горных разработках с небольшим объемом добычи полезных ископаемых, таких как карьеры строительных материалов, при ведении взрывных работ, как правило, для заряжания скважин используются промышленные взрывчатые вещества (ВВ) заводского изготовления, упакованные в полимерные мешки. При этом заряжание ВВ в скважины производится ручным способом. Применение смесительно-зарядных машин, выпускаемых исключительно на шасси большегрузных автомобилей для изготовления и механизированного заряжания скважин на карьерах объемами массовых взрывов до 10 тонн технологически и экономически не целесообразно.

Для условий ведения взрывных работ в карьерах с ограниченными объемами потребления ВВ ООО НТФ «Взрывтехнология» создано новое поколение мобильного оборудования для изготовления и заряжания в скважины промышленными взрывчатыми веществами – смесительно-зарядная установка СЗУ (ТУ 7276-44-1162478-2015), с использованием в качестве транспортной базы колесных тракторов тягового класса. Подобного типа оборудование для взрывных работ ранее не применялось.

Смесительно-зарядная установка СЗУ предназначена для изготовления взрывчатых веществ холодного смешения гранулированной аммиачной селитры с жидкими нефтепродуктами в процессе непосредственного заряжания скважин на земной поверхности. Конструкция СЗУ выполнена в соответствии с требованиями Ростехнадзора по промышленной безопасности, установленными «Правилами устройства зарядного, доставочного и смесительного оборудования, предназначенного для механизации взрывных работ» ПБ 13–564–03.

Смесительно-зарядная установка СЗУ комплектуется на базе широко распространенного полноприводного колесного трактора тягового класса 1.4с дизельным двигателем типа МТЗ–82.1 или МТЗ–82.1 23/12 с усиленным передним мостом балочного типа (Производитель: ОАО «Минский тракторный завод», Беларусь), имеющего выводы гидросистемы для дополнительных гидромеханизмов, регулируемое по высоте тягово-сцепное устройство и переднее навесное устройство в виде фронтального погрузчика. Применение такой транспортной базы для смесительно-зарядной установки обеспечивает вы-

Кантор Вениамин Хаимович – генеральный директор, научно-техническая фирма «Взрывтехнология», Москва

Дегтярев Геннадий Ильич – кандидат технических наук, технический директор НТФ «Взрывтехнология», Москва.

Жуликов Виктор Валерьевич – главный инженер, НТФ «Взрывтехнология», Москва

сокую проходимость и манёвренность при зарядании скважин на объектах взрывных работ.

Навесной фронтальный погрузчик типа «Универсал 800–4,5У», агрегатируемый с транспортными вилами, используется для выполнения работ по грузопереработке гранулированной аммиачной селитры в мягких малотоннажных контейнерах (биг-бегах). Грузоподъемность фронтального погрузчика составляет 1400 кг, высота подъема – 4,5 м.

Общий вид смесительно-зарядной установки СЗУ при зарядании скважин показан на рис.1.

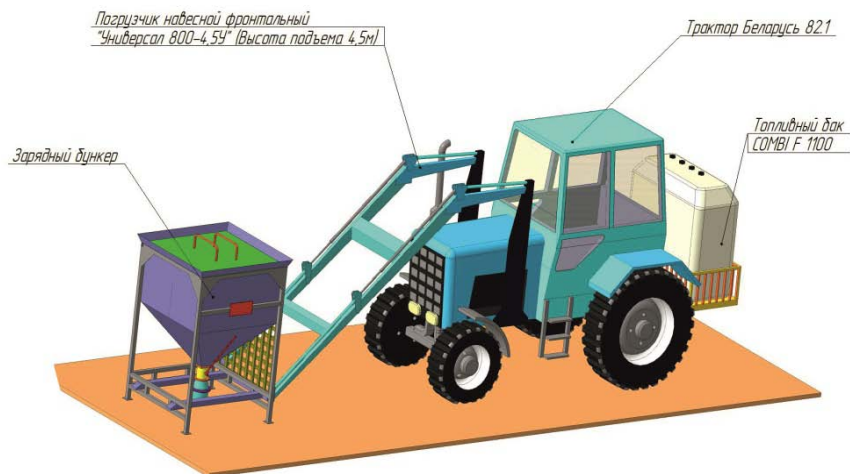


Рис.1 – Смесительно-зарядная установка СЗУ в положении при зарядании скважин

Установка СЗУ оборудована зарядным бункером для изготовления взрывчатых смесей на основе гранулированной аммиачной селитры и дизельного топлива непосредственно в процессе зарядания скважин (рис. 2).

Конструктивно зарядный бункер выполнен в виде усеченной пирамиды вместимостью 1200 кг гранулированной аммиачной селитры, в верхней части которого установлена двухстворчатая крышка и треугольный нож для разрезания полимерной оболочки биг-бега стандартной массой 400 кг с верхними грузонесущими петлями.

В нижней части зарядного бункера установлена плоская заслонка с поворотным рычагом и поточно-гравитационный смеситель ПГС с четырьмя форсунками и кольцевым трубопроводом для подачи дизельного топлива в поток аммиачной селитры.

Все детали зарядного бункера выполнены из хромоникелевой стали марки Х18Н10Т. Техническая производительность зарядания скважин регулируется в пределах 100 – 300 кг/мин в зависимости от диаметра заряжаемой скважины.

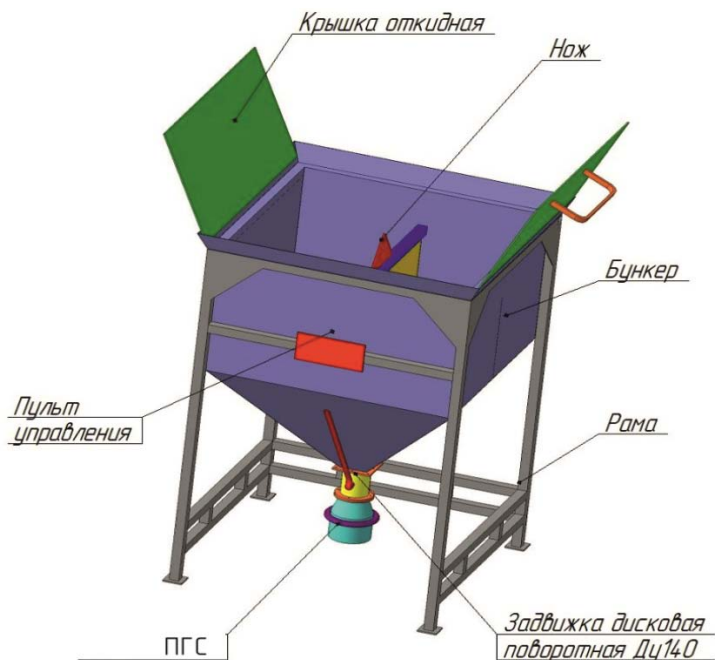


Рис.2 – Общий вид зарядного бункера смесительно-зарядной установки СЗУ

Установка СЗУ оборудована топливным модулем, включающим бак для дизельного топлива и кассету для его размещения.

Бак для дизельного топлива типа Combi F1100 емкостью 1100 литров изготовлен из высокопрочного полиэтилена, имеет заливную горловину и штуцера для подключения всасывающего и обратного гибких трубопроводов.

Бак размещен внутри металлической решетчатой кассеты, которая крепится к фаркопу колесного трактора. Для предотвращения смещения при транспортировке топливный бак крепится к несущим конструкциям кассеты двумя эластичными ремнями с натяжными устройствами.

Для подачи дизельного топлива в поточно-гравитационный смеситель зарядного бункера установка СЗУ оборудована гидравлической системой.

Гидросистема включает в себя насосную станцию, гибкие трубопроводы, регулирующую и запорную арматуру. Насосная станция смонтирована на колесном тракторе с приводом от коробки отбора мощности или гидродвигателя, работающего от штатной гидросистемы трактора.

Станция укомплектована насосом для перекачки дизельного топлива, пружинным предохранительным клапаном, манометром давления, всасывающим и напорным шлангами.

Для управления процесса изготовления ВВ и дозированной подачи жидкого горючего, гидросистема оборудована пультом управления, размещенном

на боковой стенке зарядного бункера. На пульте управления размещены разъединительная муфта, регулировочный вентиль, расходомер и кран управления. Регулировочный вентиль служит для настройки подачи необходимого количества жидкого горючего компонента в поточно-гравитационный смеситель, кран управления – для подачи дизельного топлива в форсунки поточно-гравитационного смесителя синхронно с потоком гранулированной аммиачной селитры

Смесительно-зарядная установка доставляется к месту производства работ в составе колесного трактора, топливного модуля и зарядного бункера, установленного на транспортных вилах.

Перед заездом установки на блок заряжаемых скважин топливный бак должен быть заправлен дизельным топливом. Степень наполнения емкости для горючего компонента не должна превышать 90 % ее вместимости.

Гранулированную аммиачную селитру, затаренную в мягкие малотоннажные контейнеры массой 400 кг, предварительно доставляют на блок бортовым автотранспортом и размещают в непосредственной близости от заряжаемых скважин с использованием фронтального погрузчика установки СЗУ.

До начала работы установки на зарядном блоке проводится предварительная настройка системы подачи гранулированной аммиачной селитры и дизельного топлива зарядного бункера с целью синхронизации подачи потоков жидкого горючего и окислителя в требуемом процентном соотношении при заданной производительности заряжания скважин.

Подача гранулированной аммиачной селитры в скважину осуществляется поворотом рукоятки заслонки гравитационного смесителя.

Необходимый расход дизельного топлива через форсунки поточно-гравитационного смесителя ПГС устанавливается регулировкой вентиля и контролируется по электронному счетчику-расходомеру К-24 на пульте управления зарядного бункера.

Настройку расхода жидкой горючей добавки проводят из расчета подачи 6% дизтоплива от массы гранулированной аммиачной селитры.

Работы по заряданию ВВ в скважины осуществляются бригадой (звеном) в составе взрывника и водителя установки СЗУ.

Размещение гранулированной аммиачной селитры, затаренной в мягкие малотоннажные контейнеры и доставленные бортовой автомашиной, производится на блоке в непосредственной близости от скважин перед зарядными работами.

С помощью фронтального погрузчика установки СЗУ производится загрузка из биг-бегов гранулированной аммиачной селитры в зарядный бункер (рис.3) из расчета не более 1200 кг (3 шт. по 400 кг).

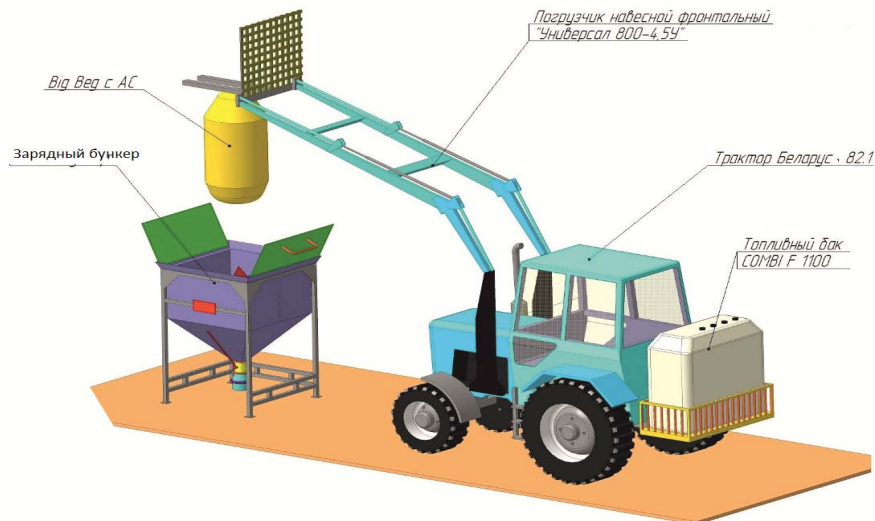


Рис. 3 – Загрузка аммиачной селитры из биг-бегов в бункер смесительно-зарядной установки СЗУ

Зарядный бункер с помощью вил фронтального погрузчика размещается над заряжаемой скважиной.

Взрывник, выполняющий зарядные работы, подключает через шаровой разъем гибкий трубопровод подачи дизтоплива к поточно-гравитационному смесителю зарядного бункера.

При включении насосной станции форсунки распыляют дизельное топливо в поточно-гравитационный смеситель ПГС до туманообразного состояния и смешивают его с гранулами аммиачной селитры, поступающими в потоке из сопла зарядного бункера.

Поворотом рукоятки взрывник открывает плоскую заслонку подачи аммиачной селитры и одновременно краном на пульте управления включает подачу дизтоплива в форсунки. При этом в скважину поступает готовая взрывчатая смесь с заданной производительностью заряжания.

Контроль количества заряжаемого в скважину ВВ осуществляется по соответствующим показаниям электронного счетчика-расходомера дизтоплива, размещенного на боковой стенке зарядного бункера.

После заряжания в скважину расчетного количества ВВ перекрывается подача селитры и дизельного топлива и осуществляется переезд СЗУ с зарядным бункером на следующую скважину. При этом производится дополнительная загрузка аммиачной селитры из биг-бега в зарядный бункер и повторяется операция по зарядке скважины.

В процессе механизированного заряжания концы детонирующего шнура или волновода неэлектрической системы инициирования выходят из устья скважины через открытый проем нижней части зарядного бункера.

Разработчиком в соответствии с техническими регламентами по безопасности машин и оборудования установлены следующие назначенные показатели смесительно-зарядной установки СЗУ:

– ресурс – 20000 тонн изготовленного и заряженного взрывчатого вещества;

– срок службы – 15 лет;

– срок хранения – 2 года до начала эксплуатации.

Технические данные транспортной базы и навесного оборудования смесительно-зарядной установки СЗУ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Транспортная база	
1 Колесный трактор	тяговый тип, класс 1,4
2 Грузоподъемность, кг	3200
3 Пределы температур эксплуатации трактора, оС	+/-40
4 Двигатель (тип, мощность)	Дизельный Д-243, 82 л.с.
5 Число передач вперед/назад	18/4
6 Колесная формула	4х4
7 Наименьший радиус поворота, м	3,8
8 Дорожный просвет, мм	465
9 База, мм	2450
Фронтальный погрузчик	
1 Модель погрузчика	«Универсал 800-4,5У»
2 Грузоподъемность, кг	1400
3 Высота подъема, мм	4500
4 Масса, кг	950
Зарядный бункер с поточно-гравитационным смесителем ПГС	
1 Объем загрузки аммиачной селитры, м ³	1,72
2 Материал каркаса	труба 50х50х2,5 ГОСТ 8645-68
3 Материал обшивки	сталь 12Х18Н9Т 2,0 ГОСТ 5582-75
4 Диаметр выпускного отверстия аммиачной селитры, мм	140
5 Тип заслонки	Плоская, поворотная
6 Форсунки для распыления дизельного топлива: тип марка тип факела угол факела распыла количество форсунок	центробежная ТР 685–240–3 полый, конический 80° 4

Зарядный бункер с поточно-гравитационным смесителем ПГС	
7 Габаритные размеры, мм	
длина	1700
ширина	1600
высота	2110
8 Масса, кг	62
Топливный модуль	
1 Тип бака для дизельного топлива	Combi F1100
2 Емкость бака, л	1100
3 Габаритные размеры, мм	
длина	1600
ширина	750
высота	1350
4 Масса, кг	43
Гидросистема	
1 Модель гидронасоса	СКР-90-Е
2 Давление нагнетания кгс/см ² , не более	5,5
3 Производительность, л/мин	50
4 Предохранительное устройство	пружинный предохранительный клапан
5 Регулирующее устройство	вентиль ВРМ-6-25
6 Расходомер дизельного топлива	электронный счетчик К-24

Применение смесительно-зарядной установки СЗУ позволяет перейти на производство безопасных промышленных ВВ простейшего состава непосредственно на местах ведения взрывных работ в карьерах с ограниченным объемом потребления ВВ, полностью механизировав технологические процессы подготовки и заряжания скважин, исключив применение физически тяжелых ручных работ.

МОБИЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ САМОСВАЛЬНОГО ТИПА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА И МЕХАНИЗИРОВАННОГО ЗАРЯЖАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ НА КАРЬЕРАХ

В.Х. Кантор, Г.И. Дегтярев, В.В. Жуликов

Повышение эффективности взрывных работ на карьерах определяется в первую очередь возможностью широкого применения мобильной технологии изготовления гранулированных взрывчатых веществ (ВВ) из сравнительно дешевых невзрывчатых компонентов (аммиачная селитра (АС) и жидкий нефтепродукт) при механизированном зарядании скважин с использованием смесительно-зарядных машин, способных не только доставлять по автомобильным дорогам на места ведения взрывных работ эти компоненты, но и обеспечивать высокий уровень промышленной безопасности процесса непосредственного изготовления ВВ.

подавляющее большинство мобильных смесительно-зарядных установок на базе большегрузных автомобилей, применяемых для заряжания скважин на карьерах гранулированными взрывчатыми веществами, используют в качестве рабочих органов комбинацию нескольких шнековых смесительных и подающих (дозирующих) устройств. Изготовленные в таких машинах из невзрывчатых компонентов готовые взрывчатые смеси транспортируются каскадом шнековых питателей, подвергаются различным видам механических воздействий (удару, трению, сдвигу), в ограниченном замкнутом пространстве, что создает определенную опасность процесса заряжания в аварийной ситуации, например, при запрессовке в шнеке ВВ или при заклинивании заполненного ВВ шнека в его обойме.

ООО НТФ «Взрывтехнология» разработана для предприятий – производителей взрывных работ на открытых горных разработках принципиально новая, высокобезопасная транспортно-зарядная машина ТЗМ (ТУ7276-45-1162478-2015) на базе широко распространенного грузового автосамосвала КАМАЗ – 6520. ТЗМ предназначена для транспортирования по автодорогам общего пользования невзрывчатых компонентов и изготовления из них на местах ведения взрывных работ промышленных взрывчатых веществ в процессе механизированного заряжания скважин. В конструкции машины для повышения безопасности технологического процесса производства исключен принцип транспортирования в шнековых питателях готовых взрывчатых смесей. Общий вид транспортно-зарядной машины ТЗМ показан на рис. 1.

Кантор Вениамин Хаимович – генеральный директор, научно-техническая фирма «Взрывтехнология», Москва

Дегтярев Геннадий Ильич – кандидат технических наук, технический директор НТФ «Взрывтехнология», Москва.

Жуликов Виктор Валерьевич – главный инженер НТФ «Взрывтехнология», Москва

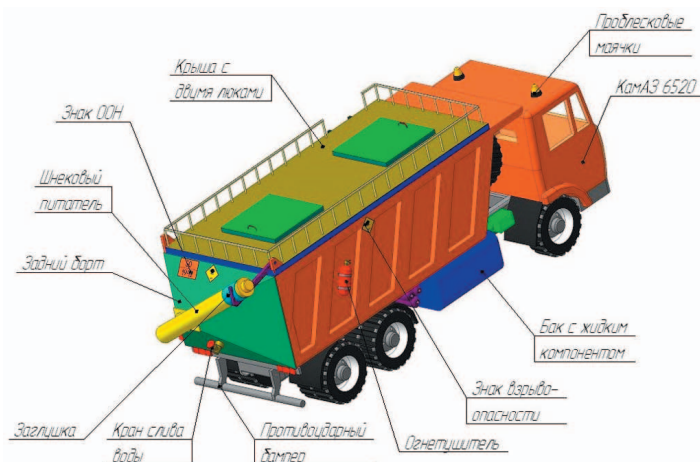


Рис.1 – Транспортно-зарядная машина ТЗМ. Общий вид в транспортном положении

Транспортно-зарядная машина ТЗМ представляет собой смонтированные на грузовой самосвальной платформе отдельные изолированные емкости для размещения в них при транспортировании гранулированной аммиачной селитры и жидкого технологического топлива в соответствии с требованиями Европейского соглашения о международной дорожной перевозке опасных грузов (ДОПОГ). Для повышения безопасности производства ВВ ТЗМ оснащена специальным съемным навесным смесительным устройством, изготавливающим поточным методом при раздельной подаче компонентов промышленные ВВ в процессе механизированного заряжания скважин на местах ведения взрывных работ в соответствии с установленными Ростехнадзором требованиями «Правил устройства зарядного, доставочного и смесительного оборудования, предназначенного для механизации взрывных работ (ПБ 13-564-03).

Технологическое оборудование ТЗМ включает в себя:

- бункер для гранулированной аммиачной селитры;
- емкость (бак) для жидкого горючего компонента;
- шнековый питатель аммиачной селитры;
- насос для подачи жидкого топлива;
- гидравлическую систему для привода оборудования;
- электронную систему управления процессом изготовления ВВ и заряжания скважин.

Бункер для АС вместимостью до 10 тонн размещен внутри штатной самосвальной платформы автомобиля, облицованной изнутри листовой нержавеющей сталью. Сверху бункер перекрыт крышей в виде сплошного настила из нержавеющей стали, армированной прямоугольными трубами. В крыше бункера выполнены два загрузочных люка для загрузки АС с закрывающими-

ся откидными крышками. Загрузочные люки снабжены сетками с размерами ячеек 10х10 мм и треугольными ножами для просеивания аммиачной селитры при загрузке и разрезания вкладышей мягких малотоннажных контейнеров (биг-бегов). Загрузка аммиачной селитры из биг-бегов в ТЗМ показана на рис.2

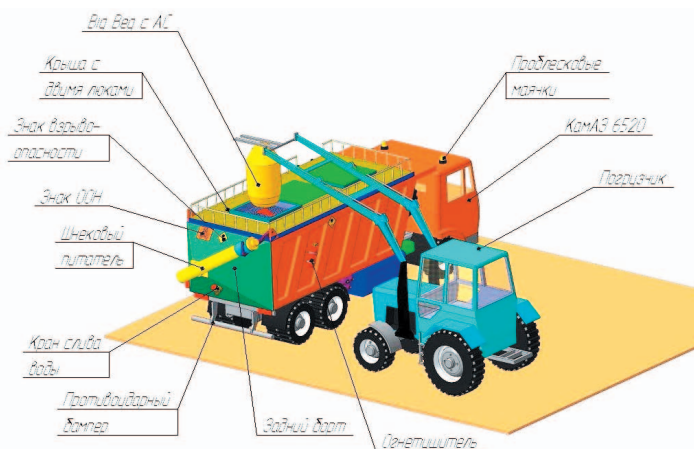


Рис. 2 – Загрузка АС из биг-бегов в транспортно-зарядную машину ТЗМ

В задней торцевой части бункера расположена приемная воронка с поворотным шнековым питателем для разгрузки и управляемой подачи аммиачной селитры в съемный навесной поточно-гравитационный смеситель при изготовлении ВВ в процессе заряжания скважин. Общая конструкционная длина шнекового питателя составляет 3 м. Шнековый питатель не выходит за габариты бункера в транспортном положении, а в рабочем положении позволяет заряжать скважины на расстоянии 1,5 метра от левого борта ТЗМ.

Шнек-винт питателя изготовлен из нержавеющей стали, оснащен уплотнителями и выносными подшипниками. Диаметр шнек-винта составляет 170 мм. Корпус шнека для исключения его заклинивания при перекосах изготавливается из алюминия с внутренним диаметром 195 мм. Для исключения запрессовки аммиачной селитры в торцевых частях шнекового питателя в конструкции шнек-винта предусмотрено устройство отсечки потока путем применения отбойного витка со встречной навивкой, а сам шнек-винт выполнен с переменным шагом витков с увеличением шага к выходному патрубку.

На входном патрубке корпуса шнека размещен червячный редуктор с приводом для перемещения и фиксации его в рабочем и транспортном положении. На валу шнека-питателя расположен бесконтактный датчик, который контролирует скорость вращения шнека и подает сигнал в систему управления. Конструкция шнекового питателя выполнена в полном соответствии с требованиями промышленной безопасности при транспортировании ВВ, что

делает процесс подачи из бункера гранулированной аммиачной селитры полностью взрывобезопасным.

ТЗМ оборудована теплоизолированной ёмкостью (баком) вместимостью 750 литров, для технологического топлива (жидкого нефтепродукта), размещаемой на шасси КамАЗа 6520 с правой стороны рамы.

Навесной поточно-гравитационный смеситель ПГС для изготовления взрывчатых веществ размещается с помощью быстросъёмного соединения на входном патрубке шнекового питателя перед началом зарядных работ.

Конструктивно смеситель выполнен в виде цилиндрической приемной воронки, внутри которой размещен, перемещающийся по винтовой направляющей и рассеивающий поток аммиачной селитры, конус и четыре специальные центробежные форсунки для распыления под давлением дизельного топлива до туманообразного состояния и обработки им потока АС.

Подача потока аммиачной селитры в смеситель производится шнековым питателем из бункера при подъёме самосвальной платформы на рабочий угол 25–30° при зарядании скважин. Для полной очистки бункера платформа кратковременно может пониматься до предельного угла 40° для пересыпания в заднюю часть бункера селитры с последующей ее разгрузкой при рабочем угле наклона бункера. Рабочее положение транспортно-зарядной машины при зарядании скважин на карьерах показано на рис. 3 и 4

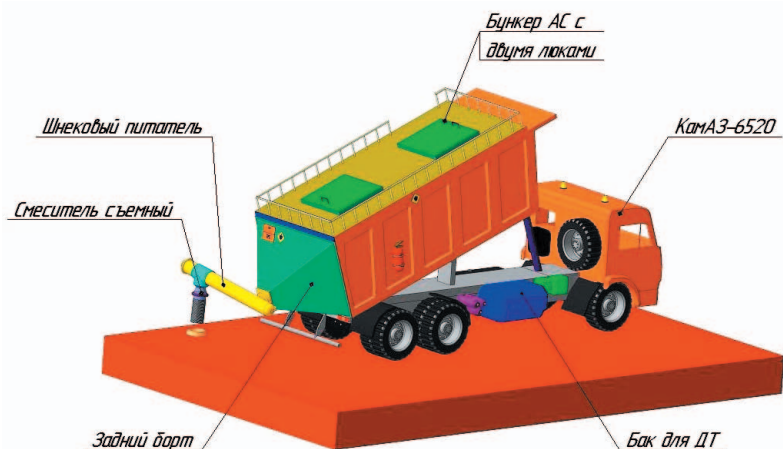


Рис. 3 – Транспортно-зарядная машина ТЗМ в рабочем положении при зарядании скважин. Вид сбоку

ТЗМ оснащена современной гидравликой и электроникой с использованием комплектующих отечественного и импортного производства.

Гидравлическая система предназначена для привода гидроцилиндра подъема бункера АС и гидромоторов механизмов подачи компонентов ВВ.

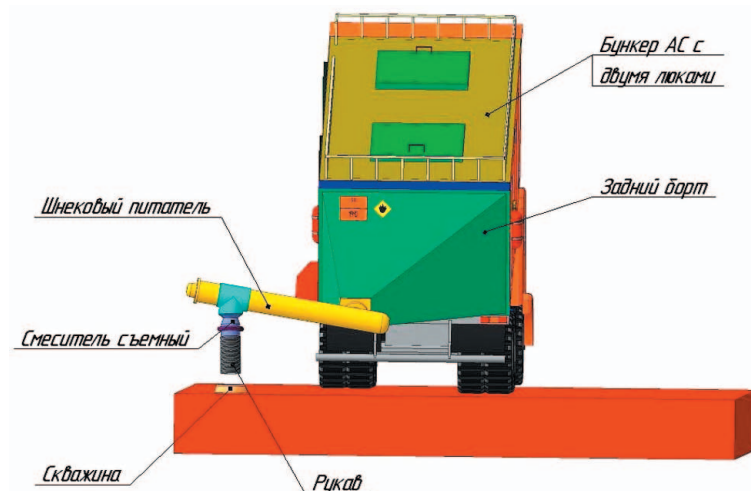


Рис. 4 – Транспортно-зарядная машина ТЗМ в рабочем положении при зарядании скважин. Вид со стороны шнекового питателя

ТЗМ оснащена современной гидравликой и электроникой с использованием комплектующих отечественного и импортного производства.

Гидравлическая система предназначена для привода гидроцилиндра подъема бункера АС и гидромоторов механизмов подачи компонентов ВВ.

Гидравлическая система ТЗМ выполняет следующие функции:

- подъем и опускание платформы бункера АС с ограничением угла 40° при рабочем угле заряжания $25\text{--}30^\circ$;
- привод насоса технологического топлива;
- привод гидродвигателя шнекового питателя.

Управление ТЗМ осуществляется оператором-взрывником с пульта управления, расположенного на левой боковой стороне бункера АС. В пульте управления размещены панель с управляющими гидравлическими аппаратами гидросистемы привода дозирующих устройств и пластиковый термобокс с электронной панелью системы учета расхода ВМ и его компонентов.

Электронная система учета и расхода ВВ осуществляет индикацию расхода каждого компонента и суммарного количества заряжаемого в скважину ВВ, с отображением визуальной информации на экране дисплея планшетного компьютера.

Настройка электронной системы учета ВВ осуществляется за счет функции встроенного коэффициента масштабирования каждого компонента ВВ.

Обслуживание ТЗМ в процессе заряжания скважин осуществляется персоналом в составе водителя-оператора и взрывника-оператора.

Гранулированную аммиачную селитру, затаренную в мягкие малотоннажные контейнеры вместимостью 400–1 500 кг, загружают на площадке их

хранения в бункер ТЗМ вилочным автопогрузчиком или другим грузоподъемным оборудованием через люки в крыше бункера. На заряжаемом блоке биг-беги с АС загружаются с машины доставщика АС, оборудованной краном манипулятором. Жидкий нефтепродукт заливается в бак – технологическую емкость ТЗМ перед транспортировкой на объект взрывных работ или непосредственно на заряжаемом блоке.

Общие технические характеристики транспортно-зарядной машины ТЗМ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Транспортная база	КамАЗ 6520
Колёсная формула	(6х4)
Снаряженная масса автомобиля, кг	12 950
Грузоподъемность автомобиля, кг	14 400
Полная масса автомобиля, кг	27 500
Габаритные размеры:	
Длина, м	до 8
Ширина, м	до 2,5
Высота, м	до 3,3
Полезная загрузка компонентами ВВ, кг	11 000
Регулируемая техническая производительность заряжания скважин по ВВ, кг/мин	100–300
Плотность заряжания ВВ, кг/м ³	750–950
Диаметр заряжаемых скважин, мм	120–350
Температурный диапазон окружающей среды, градус	±40
Установленный срок службы, годы	10
Ресурс по количеству изготовленного и заряженного ВВ, тонн	100 000

ТЗМ при движении к местам производства работ по дорогам общего пользования, как транспортное средство для перевозки в отдельных емкостях гранулированной аммиачной селитры в насыпном виде и жидкого горючего, отвечает требованиям ДОПОГ для этих видов опасных грузов. Функцию смесительно-зарядной машины ТЗМ приобретает только на месте ведения взрывных работ (опасном производственном объекте), после оснащения её съемным навесным поточно-гравитационного смесителем.

ТЗМ, в отличие от существующих смесительно-зарядных шнековых установок не содержит встроенной машины для изготовления взрывчатых веществ, и ее конструкция полностью исключает перемещение взрывоопасных смесей в замкнутых объемах шнековых питателей. За счет применения принципиально нового съемного поточно-гравитационного смесителя открытого типа ПГС обеспечивается высокое качество изготовления взрывчатого вещества и полная взрывобезопасность процесса заряжания ими скважин.

О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ ПОДОБИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОГО РАССТОЯНИЯ ПРИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ

Е.В. Болкисева, В.Е. Родин

Цель публикации – показать происхождение обязательных расчетных формул для определения безопасных расстояний, выявить их достоинства и недостатки, установить возможность сравнительной оценки безопасного расстояния различными методами.

Взрывные работы являются, и в дальнейшем будут оставаться основным способом разрушения крепких скальных пород. Объясняется это спецификой действия взрыва, когда сконцентрированная в газообразных продуктах взрыва (ПВ) энергия создает давление, многократно превышающее прочность любой породы. Но взрыв имеет и негативные последствия в виде ударной воздушной волны (УВВ), сейсмической волны, осколков разрушенной породы, ядовитых газов. Определить расстояние, на котором эти последствия будут безопасными, можно, решая задачу их распространения в окружающей среде. Но из-за того, что параметры взрыва непрерывно изменяются во времени и в пространстве, теоретически задача решается только вероятностными методами, непригодными для инженерной практики. Потребовались упрощенные способы оценки безопасных расстояний ($R_{\text{без}}$). Исследования в этом направлении интенсивно велись в 1930-1950 гг. В результате получены простые формулы, которые при включении их в Правила безопасности при ведении взрывных работ (ПВ) [1] приобрели статус директивных. ПВ за свою, более чем 80-летнюю историю, неоднократно корректировались. В связи с этим и происхождение формул, и надежность расчетов с их использованием практически утрачена.

Обязательные расчетные формулы имеют общий вид зависимости $R_{\text{без}}$ от изменения принятого критерия расчета. В горном деле для построения такой зависимости используют законы подобия, с помощью которых дальность действия разрушающей нагрузки связывается обычно с массой заряда взрывчатого вещества (ВВ).

Разрушающая нагрузка создается ударной волной, наиболее важным параметром которой является избыточное давление. Его характеризуют либо импульсом, либо изменением давления во времени. Если ударная волна распространяется в любом направлении одинаково, то ее последующее положение будет представлять собой сферическое поле избыточных давлений с общим центром. Из симметрии сферических полей напряжений следует, что

Болкисева Елена Владиславовна – заместитель заведующего учебно-методическим отделом НИИ охраны труда, г. Екатеринбург

Родин Владимир Ефимович – доктор технических наук, профессор, директор НИИ охраны труда, г. Екатеринбург

если некоторое давление (Δp_1) будет находиться на расстоянии (R_1) от радиуса заряда (r_1), то это же давление (Δp_1) при радиусе заряда (r_2) будет находиться на расстоянии R_2 при соотношении $\frac{R_1}{R_2} = \frac{r_1}{r_2}$. Следовательно, расстояние до определенного значения (Δp) пропорционально радиусу заряда:

$$R_{(\Delta p_1)} = k \cdot r, \quad (1)$$

где k – коэффициент этой пропорциональности.

На безопасном удалении от центра взрыва ($R_{\text{без}}$) избыточное давление снижается до $\Delta p_{\text{без}}$, не представляющего опасности для людей и охраняемых объектов, по зависимости:

$$\Delta p_{\text{без}} = f\left(\frac{r}{R_{\text{без}}}\right) \quad (2)$$

Выражение (2) – это закон простого геометрического подобия. В такой форме он имеет ограниченное применение и может использоваться только при одинаковой плотности зарядов одного и того же ВВ. При различной плотности ВВ его масса в зарядной полости одного и того же радиуса будет различной. Эта связь имеет вид [2]:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi\gamma}} \cdot \sqrt[3]{Q}, \quad (3)$$

где γ – удельный вес ВВ, кг/м³; Q – масса ВВ, кг. При плотности ВВ в 1,0 г/см³ и удельном весе заряда 103 кг/м³:

$$\sqrt[3]{Q} \cong 16r. \quad (4)$$

Подставляя $\sqrt[3]{Q}$ в выражение (1), получим

$$R_{\text{без}} = k \cdot \sqrt[3]{Q} \quad (5)$$

и функцию давления по аналогии с (2):

$$\Delta p_{\text{без}} = f \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R_{\text{без}}} \right) \quad (6)$$

Эта функция отражает закон обобщенного геометрического подобия, который уже позволяет использовать упрощенные формулы для зарядов ВВ различной плотности. Появляется основание принять формулу (5) в качестве стандарта для определения $R_{\text{без}}$.

Однако использование и этого закона также ограничено. Оно обусловлено отсутствием учета энергетики различных типов ВВ и идеализацией формы ударной волны. В реальности при разрушении горных пород заряды ВВ имеют цилиндрическую форму. Здесь стенки шпура или скважины препятствуют распространению ударной волны, и она превращается в плоскую. Для этих

волн давление изменяется как: $\Delta p_1 \sim \frac{1}{R}$ или $\Delta p_1 \sim \frac{1}{\sqrt{R}}$. Кроме того, разрушительное действие взрыва будет тем больше, чем больше потенциальная энергия ВВ. Следовательно, дальность действия Δp_1 зависит не от Q , а от энергии заряда E . Можно принять, что $E = Q \cdot C_v$, где C_v – удельная теплота взрыва ВВ при постоянном объеме. Тогда функция (6) принимает вид: $\Delta p_{\text{без}} = f\left(\frac{\sqrt[3]{E}}{R_{\text{без}}}\right)$. Эта функция отражает закон энергетического подобия.

Критерий $\frac{\sqrt[3]{Q}}{R_{\text{без}}}$ в функции (6) тоже можно использовать в качестве энергетического, если заменить (Q) на ее энергетический эквивалент ($Q_{\text{экв}}$). Обычно в качестве эквивалента используют заряд тротила (ТНТ). В этом случае $Q_{\text{экв}} = Q \frac{C_v}{C_{\text{тнт}}}$, где C_v и $C_{\text{тнт}}$ – соответственно удельная теплота взрыва используемого ВВ и тротила, а функция (6) записывается как:

$$\Delta p_{\text{без}} = f\left(\frac{\sqrt[3]{Q_{\text{экв}}}}{R_{\text{без}}}\right) \quad (7)$$

Вид этой функции, если ударная волна от сферического заряда распространяется на поверхности земли, установлен М.А.Садовским [3]:

$$\Delta p = \frac{84}{\bar{R}} + \frac{270}{\bar{R}} + \frac{700}{\bar{R}}, \quad (8)$$

$$\text{где } \bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{Q}} - \text{приведенное расстояние, т.е.} \quad R_{\text{без}} = \bar{R} \cdot \sqrt[3]{Q_{\text{экв}}} \quad (9)$$

Для определения $\bar{R}$ необходимо либо решить уравнение третьей степени (8) относительно $\bar{R}$, либо воспользоваться соотношением

$$\bar{R} = \sqrt[3]{\left(1 + \frac{337}{\Delta p}\right)^2 - 1} \quad (10)$$

Энергетический закон подобия можно использовать при различной плотности заряда уже для ВВ различных типов. Однако теоретический вид функции (7) установлен М.А.Садовским только для конкретных условий. Поэтому для расчетов по действию УВВ остается стандартный вид формулы подобия в вариантах:

$$R_{\text{без}} = k_1 \cdot \sqrt[3]{Q} \quad (11)$$

или

$$R_{\text{без}} = k_2 \cdot \sqrt{Q} \quad (12)$$

В предыдущей редакции ПБ (2001 г.) формула (12) имела вид: $R_{\text{без}} = k_2 \cdot \sqrt[3]{Q}$. Объяснить это изменение можно следующим образом.

Вид расчетной формулы подобия, зависит от принятого критерия: величины разрушающей нагрузки или величины импульса этой нагрузки. В первом случае формулы (11) и (12) должны быть аналогичными, а во втором –

формула (12) должна иметь вид: $R_{\text{без}} = k_2 \cdot \sqrt[3]{Q^2}$. Понятно, что показатель $\sqrt{Q}$ в формуле (12) является промежуточным между $\sqrt[3]{Q}$ и $\sqrt[3]{Q^2}$, т.е. изменение практического значения не имеет. Более важна величина коэффициента пропорциональности (k) между степенью повреждения, массой (Q) и углублением заряда ВВ, который отражает связь давления и приведенного расстояния. Эти коэффициенты для УВВ детерминированы в Приложении № 22 к ПБ. Однако величина одного и того же коэффициента (k) для идентичных условий различается на 100% и более. Требование учета всех условий взрывания при выборе (k) из представленного диапазона значений достаточно декларативно, т.к. исполнитель объективно будет стремиться выбрать наибольшее значение.

Адекватность принятого значения k можно оценить либо путем учета связи между $\Delta p_{\text{без}}$ и допустимой степенью повреждений, либо путем проверки через надежную эмпирическую зависимость. Эту оценку можно выполнить следующим образом. Например, при взрыве аммонита №6 ЖВ массой 500 кг в условиях населенного пункта требуется оценить $R_{\text{без}}$ с допустимым повреждением штукатурки здания. Согласно Приложению № 27 к ПБ: $\Delta p \leq 10$ кПа. По формуле (12): $R_{\text{без}} = 2 \cdot \dots \cdot 4 \sqrt{500} = 44,7 \cdot \dots \cdot 89,4$ м. Выбрать $R_{\text{без}}$ из этого интервала можно, используя зависимость (10):

$\bar{R} = \sqrt[3]{\left(1 + \frac{337}{10}\right)^2} - 1 = 10,6$ и формулу (9): $R_{\text{без}} = 10,6 \cdot \sqrt[3]{500} = 83,7$ м, т.е. из Приложения № 22 к ПБ надо было выбрать значение $k_2 = 3,7$.

Дополнительную проверку можно выполнить по экспериментальной зависимости [4]:

$$R = K \cdot \sqrt[3]{Q_{\text{экв}}} / \sqrt[5]{1 + (3180 / Q_{\text{экв}})^2} = 20 \cdot \sqrt[3]{500} / \sqrt[5]{1 + (3180 / 500)^2} = 84,9 \text{ м},$$

где K – коэффициент, соответствующий различной степени разрушения в условиях городской застройки. K можно принять равным 20. При больших значениях давление еще достаточно велико ($\Delta p \approx 10$ кПа), но здания уже не получают средних разрушений. Для взрывов в городских условиях $R_{\text{без}}$, рассчитываемое по формуле (12), следует увеличить в 1,4-2,0 раза (п.847 и п.848 ПБ). Проверочный расчет показывает, что такое увеличение можно считать своеобразным «коэффициентом запаса безопасности».

Ударная волна – это искусственное землетрясение, которое сопровождается сотрясанием массива пород (упругие колебания). Эти колебания передаются на фундаменты охраняемых сооружений. Безопасность будет обеспечена, если скорость упругих колебаний не нарушает нормального функционирования сооружения, т.е. расчетным критерием будет допустимая скорость колебаний объекта ($V_{\text{дон}}$). Массу ВВ, вызывающую $V_{\text{дон}}$, можно определить по формуле М.А.Садовского

$$Q = R^3 \cdot \left(\frac{V_{дон}}{K} \right)^{\frac{1}{v}}, \quad (13)$$

где v – показатель затухания колебаний; K – коэффициент, зависящий от свойств среды, в которой распространяется сейсмическая волна.

Скорость и дальность действия сейсмической волны зависит от структурных особенностей массива пород и технология взрывания. Поэтому использовать формулу (13) можно, лишь зная экспериментально установленную величину исходных данных. При преобразовании (13) в $V_{дон} = f \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R_{без}} \right)$ вид функции будет соответствовать функции (6), что позволяет для инженерного определения $R_{без}$ использовать общую формулу (5). Отсюда, обязательная расчетная формула для УВВ получила вид:

$$R_{без} = k_c \cdot k_z \cdot \alpha \cdot \sqrt[3]{Q}, \quad (14)$$

где $k_c; k_z; \alpha$ – коэффициенты, зависящие соответственно от: типа здания и характера застройки; свойств грунта в основании здания; типа взрыва (рыхление, камуфлет и т.д.).

В формуле (14) величина коэффициентов однозначно детерминирована, и кроме того, для учета особенностей технологии взрывания в ПБ имеются дополнительные расчетные формулы.

Физико-механические свойства пород и параметры буровзрывных работ (БВР) в наибольшей степени сказываются при изучении разрушения горного массива на отдельные фракции. Параметры БВР можно учесть через линию наименьшего сопротивления (W) и показатель взрыва (n). В качестве критерия для расчета безопасного расстояния от разлета осколков они использовались различными авторами:

$$R_{без} = 20 \cdot n^2 \cdot W \text{ (Н.М. Лопатин); } R_{без} = 140 \cdot n \cdot \sqrt{W} \text{ (Б.А. Эпов);}$$

$$R_{без} = \frac{2}{3} \cdot W \cdot (1 + n^2)^4 \text{ (Г.И. Покровский); } R_{без} = 40 \cdot n^2 \cdot W \text{ (А.А. Смолянский);}$$

$$R_{без} = [7 + 13 \cdot (n - 1)] \cdot W \text{ (А.А. Черниговский); } R_{без} = 255 \cdot n^{\frac{3}{4}} \cdot \sqrt[3]{W} \text{ (В.Л. Барон) и др.}$$

В этих зависимостях характеристика пород в явном виде отсутствует. Поэтому при одном и том же значении W результаты расчета по разным формулам будут существенно различаться, т.е. зависимости носят частный характер. Исключение составляет формула Г.И. Покровского, которая получена при решении баллистической задачи классической механики. Из нее, трестом «Союзвзрывпром» путем замены показателя взрыва n на параметры БВР и крепость пород, получена директивная формула

$$R_{\text{без}} = 1250 \cdot k_{\text{вв}} \cdot k_{\text{заб}} \cdot \sqrt{\frac{f \cdot d_c}{(1 + k_{\text{заб}}) \cdot a}}, \quad (15)$$

где $k_{\text{вв}}$ и $k_{\text{заб}}$ – коэффициент заполнения скважины соответственно ВВ и забойкой;

d_c – диаметр взрывающей скважины; a – расстояние между скважинами в ряду или между рядами скважин; f – коэффициент крепости пород по шкале проф.

М.М. Протождяконова.

Значение принятого в ней коэффициента пропорциональности можно получить, например, по формуле Н.М. Лопатина при $W = 10$ м и $n = 2,5$: $R_{\text{без}} = 20 \cdot 2,5 \cdot 10 = 1250$.

Однако расчет по директивной формуле не гарантирует безопасности от разлетающихся осколков. Так, из 216 массовых взрывов в 57% случаях фактический разлет осколков почти в 2 раза превышал радиус опасной зоны, определяемый по формуле (15) [5]. Поэтому расчеты по формуле (15) рекомендуется проводить с запасом, с учетом дополнительных коэффициентов, условий и т.д.

Сравнительную ориентировочную оценку можно выполнить, например, по формуле подобия М.А. Садовского [6]: $R_{\text{без}} \geq 10,5 \cdot \left(\frac{W}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-4}$ (здесь W – заглубление заряда ВВ, м). Точность этой формулы составляет 50% и результаты расчета надо увеличить в 1,5 раза.

Более точную оценку можно выполнить по формуле Я.М. Пучкова [5]:

$$R_{\text{без}} = 100 \cdot \frac{C}{\sigma_p} \cdot \left(\frac{Q}{a \cdot b \cdot h} \right) - 8\sigma_p \quad (16)$$

где $\frac{C}{\sigma_p}$ – хрупкость породы; C – сцепление породы; σ_p – предел прочности породы на растяжение; a – расстояние между скважинами в ряду; b – расстояние между рядами скважин; h – неактивная часть скважины между зарядом и устьем;

Эксперименты во всех представительных породах Уральского и Северо-Западного регионов показали, что точность формулы (16) составляет 92% и более. Причем, параметры формулы (16) позволяют также определить пути управления разлетом осколков, начиная с исключения их выброса. Так, камуфлет для любой конкретной породы ($R = 0$) обеспечивается при $\left(\frac{Q}{a \cdot b \cdot h} \right) = 0,08 \frac{\sigma_p^2}{C}$. По этому соотношению можно всегда определить величину требуемого $R_{\text{без}}$, изменяя любой из технологических параметров: Q , a , b или h .

Необходимо подчеркнуть, что целенаправленность исследований по действию взрыва была обусловлена требованиями предприятий, где массовыми взрывами разрушаются большие объемы горных пород. Считалось, что для этих условий основное внимание должно уделяться трем рассмотренным последствиям взрыва. Поэтому в отношении действия ядовитых газов ПБ ограничились лишь формулой подобия типичного вида:

$$R_{\text{без}} = 160 \sqrt[3]{Q} \quad \text{или} \quad R_{\text{без}} = k \cdot \sqrt[3]{Q(1 + 0.5V_{\text{в}})} \quad (17)$$

где $V_{\text{в}}$ – скорость ветра, м/с.

Здесь величина коэффициентов должна зависеть от поршневого действия газообразных продуктов взрыва (ГПВ), т.е. от расстояния, на котором ударная волна отрывается от подпирающих ее ГПВ. Установлено, что ударная волна постепенно отрывается от ГПВ на расстоянии 8 – 15 радиусов заряда (r), т.е. действие ГПВ прекращается в среднем на расстоянии $10r$. Тогда из выражения (4): $10 \cdot 16 \cdot \sqrt[3]{Q}$ получаем значение коэффициента формулы (17). Однако в данном случае величина k принципиального значения не имеет, поскольку $R_{\text{без}}$ предопределяется не массовой ВВ взрыва (Q), а количеством ядовитых газов, образующихся при реакции разложения ВВ определенного химического состава. При этом ограничение области применения (17) массой ВВ ≥ 200 т теряет смысл, но зато при меньшей Q оно оставляет расчет $R_{\text{без}}$ без нормативной базы. Поэтому в другом директивном документе [7] формула (17) модернизирована:

$$R_{\text{без}} = 1,5 \sqrt[3]{C \cdot Q}, \quad (18)$$

где C – количество ядовитых газов, выделяемое при взрыве 1 кг ВВ, дм^3 .

Однако ограничение области применения (18) массой ВВ в 100 т и рекомендуемое $C \approx 200$ л/кг ВВ (по условной окиси углерода), по сути, сводит ее все к той же формуле (17). Дальнейшее совершенствование расчета $R_{\text{без}}$ выполнено в руководстве [8], где величина C связана с типом ВВ и свойствами пород (принимается по таблицам, основанным на данных технической литературы). В результате, учтен критерий опасности, область применения формулы (18) расширена, а использование формулы (17) из ПБ становится бессмысленным.

Существенным недостатком определения $R_{\text{без}}$ по действие ядовитых газов является то, что расчет связан только с той частью ГПВ, которая выбрасывается в атмосферу. Однако имевшиеся на практике случаи отравлений были связаны не с этой частью ГПВ, а с десорбцией той части (особенно оксидов азота), которая сохранилась в разрушаемой породе после завершения взрывных работ. В этом аспекте достаточных исследований не проведено и для расчета $R_{\text{без}}$ нет ни отечественных, ни зарубежных методик.

Отметим также, что независимо от результатов расчета, ПБ устанавливают минимальную величину $R_{\text{без.min}}$: для людей, находящихся на от-

крытой местности, – не менее 200 м, а для зданий и наземных коммуникаций – определяться в проекте с учетом конкретных условий. При разрушении незначительных объемов пород и небольшой массе ВВ, расчетное значение $R_{\text{без}}$ во многих случаях оказывается меньше $R_{\text{без.min}}$. В результате, для таких условий, например, при проходке строительных горных выработок, расчет $R_{\text{без}}$ становится формальностью, т.к. не позволяет снизить $R_{\text{без.min}}$. А для выполнения требований ПБ тогда потребуются дополнительные технические мероприятия, что может препятствовать интенсификации и улучшению технико-экономических показателей БВР.

ВЫВОДЫ

1. Законы подобия играют важную роль при изучении многих сложных явлений природы. Применительно к взрывным работам они позволили выявить пропорциональную зависимость между основными параметрами взрыв и их действием на окружающую среду и оказались практически единственным инструментом разработки простых инженерных расчетных формул. Формулы, построенные с использованием методов теории подобия, стали обязательными для расчета безопасных расстояний от негативных последствий взрыва.

2. Точный математический вид функциональных зависимостей между влияющими факторами не установлен. В обязательных формулах он заменен коэффициентами пропорциональности, которые, как правило, не имеют достаточного теоретического или экспериментального подтверждения. Поэтому результаты расчетов – это только ориентировочная оценка безопасного расстояния. Причем, оказывается вообще неприемлемой представленная в [1] формула расчета безопасного расстояния по действию ядовитых газов. Сравнительную оценку величины безопасного расстояния можно выполнить по зависимостям, которые построены на достоверных экспериментальных исследованиях.

3. Обязательные расчетные формулы не учитывают особенностей взрывных работ в населенных пунктах и могут потребовать дополнительных мероприятий по обеспечению безопасности. Для учета этих условий и корректировки обязательных формул необходимы серьезные теоретические и экспериментальные исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности “Правила безопасности при взрывных работах”. Серия 13. Выпуск 14. – М.: ЗАО “Научно-технический центр проблем промышленной безопасности”, 2014. 332 с.
2. Андреев К.К., Беляев А.Ф. Теория взрывчатых веществ. М.: Оборонгиз, 1960. 595 с.

3. Садовский М.А. Избранные труды: Геофизика и физика взрыва. М.: Наука, 2004. 440 с.
4. Основы гражданской защиты в чрезвычайных ситуациях. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 150 с.
5. Пучков Я.М. Кинематика и динамика осколков при массовых взрывах в карьерах. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 416 с
6. Садовский М.А., Белопухов Л.К. О безопасных расстояниях по разлету грунта при подземных взрывах. Безопасность труда в промышленности. – 1963. – № 6.-С.19-21.
7. Технические правила ведения взрывных работ на дневной поверхности. М.: Недра, 1972. 240 с.
8. Руководство по определению безопасных расстояний по действию ядовитых газов при взрывах на земной поверхности. Сост. В.Л. Барон, М.И. Гананольский, В.А. Белин – М.: МГГУ, 2011. 17 с.



Участники конференции в ООО «ЮжУралВзрывпром»



На Коркинском угольном разрезе



На Копейском химическом заводе «Пластмасс»



На борту Коркинского угольного разреза



Выступает академик РАН Адушкин Виталий Васильевич



Участники VI Уральского горнопромышленного форума

Научное издание

ТЕХНОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

*Материалы научно-технических конференций
по взрывным работам 2015 г.*

Институт горного дела УрО РАН

620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58

Научный редактор Болкисев В.С.

Компьютерный набор текста Т.Н. Инякиной, В.В. Ягнышевой,

Издательство АМБ

620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 12, стр. 2, оф. 410

Тел.: (343) 311-30-91

Президент АМБ Владимир Лобок

Верстка, обработка изображений Снегирева Е.В.

Подписано в печать 16.08.2016. Формат 60×90/16

Усл. печ. л. 7,0. Тираж 100 экз. Заказ № 903.

Отпечатано в типографии АМБ

620142, г. Екатеринбург, ул. Цвиллинга, 7

Тел.: (343) 220-82-55

