УДК 622.235

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

И. Ю. МАСЛОВ¹, главный инженер, канд. техн. наук О. С. БРЮХОВЕЦКИЙ², проф., д-р техн. наук, bos.rggru@mail.ru П. А. БРАГИН¹, главный специалист по БВР С. В. ИЛЯХИН², проф., д-р техн. наук

¹ ООО «Глобал Майнинг Эксплозив—Раша», Москва, Россия ² Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Москва, Россия

Введение

Взрывное разрушение крепких горных пород остается одним из главных производственных процессов на подземных рудниках и карьерах. На совершенствование средств и технологии буровзрывных работ направлены усилия специалистов горного дела [1–4].

Приоритетное направление при производстве взрывных работ на горных предприятиях в нашей стране и за рубежом имеет применение эмульсионных взрывчатых веществ, в том числе и в обводненных породных массивах [5]. Однако при сенсибилизации эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) газовыми порами происходит увеличение плотности взрывчатого вещества с увеличением глубины скважины, что снижает надежность их детонации и при определенных условиях приводит к отказу. Поэтому необходимо знать величину усадки скважинного заряда газосенсибилизированного ЭВВ под действием собственного веса и изменения температуры ЭВВ после помещения его в скважину.

Кроме того, для использования ЭВВ в подземных условиях не решена проблема механизированного заряжания вееров восстающих скважин с использованием предохранительных ЭВВ 3-го класса.

На горных предприятиях в труднодоступных и малообжитых районах Полярного Урала, Восточной Сибири и Дальнего Востока в силу ряда технологических, квалификационных и логистических сложностей трудно обеспечить постоянство качества изготавливаемых ЭВВ на местах применения. Ввиду значительных критических и предельных диаметров современных смесевых и водосодержащих ВВ, изготавливаемых на местах применения, прямое измерение теплоты взрыва невозможно [5–9]. Поэтому необходимо разработать экспресс-метод определения теплоты взрыва ЭВВ на месте производства взрывных работ.

Теория и практика применения ЗВВ

Для надежного обеспечения качества дробления горных пород взрывом [10] на практике рекомендуется применение ЭВВ, сенсибилизированных стеклянными или пластиковыми микросферами, но дороговизна этих сенсибилизаторов существенно сказывается на экономических показателях. Для одновременного снижения затрат на взрывную подготовку горной массы и решения вышеуказанных технических и экономических проблем, присущих удлиненным зарядам с ЭВВ, возможно в качестве сенсибилизатора ЭВВ использовать гранулы вспененного полистирола. Применение ЭВВ, сенсибилизированных таким способом, позвоПриведены результаты применения эмульсионных вэрывчатых веществ на основе Эмульпора применительно к отбойке обводненных горных пород скважинами длиной до 50 м. Описана технология полностью механизированного изготовления промышленного эмульсионного взрывчатого вещества при заряжании скважин и шпуров в условиях подземных горных выработок на руднике «Удачный» АК «АЛРОСА».

Ключевые слова: эмульсия, пенополистирол, взрывчатые вещества, предохранительные BB, термоусадка, теплота взрыва, заряжание.

DOI: 10.17580/gzh.2018.11.15

ляет изменять плотность ЭВВ (а значит, и объемную концентрацию энергии) в существенно более широком диапазоне – от 300 до 1150 кг/м³. Причем детонационные свойства данного ЭВВ практически не зависят от гидростатического давления воды в скважине. Повышение эффективности взрывной подготовки горной массы на обводненных карьерах могут быть достигнуты путем придания необходимых характеристик ЭВВ, сенсибилизированному пенополистиролом. Кроме того, низкая плотность заряжания и низкая объемная концентрация энергии позволяют применять такие ВВ для механизированного заряжания контурных скважин при постановке бортов карьеров в конечное положение (заоткоска).

С целью оценки эффективности применения эмульпоров по сравнению с эмуланом ПВВ-А7О, эмулитами и порэмитом (ЭВВ с химической газогенерацией) при отбойке обводненных (ЗО % обводненности), легко- и средневзрываемых пород (песчаников, алевролитов и аргиллитов углевмещающей толщи) были проведены опытно-промышленные взрывы на АО «Междуречье». Бурение взрывных скважин осуществляли сеткой в диапазоне от 7×7 до 8×8 м, диаметр скважин принят равным от 210 до 250 мм. Взрываемые блоки делили на две части. Одну часть блоков взрывали эмульпорами, а вторую – посредством эмулана ПВВ-А-70. Заряжание скважин вели имеющимися смесительно-зарядными машинами (типа TC3M-11 и MЗУ-15–4К) по существующей технологии. Поверхностную сеть монтировали по диагональной схеме с замедлением (42×67 мс) поверхностными СИНВ-П.

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

В настоящее время при добыче полезных ископаемых широко применяют газосенсибилизированные эмульсионные ВВ. При использовании данных ВВ как на стадии проектирования, так и на стадии практического применения необходимо знать высоту колонки заряда в момент инициирования заряда [11]. В работе [12] приведены результаты расчетов величины усадки скважинного заряда газосенсибилизированного ЭВВ под действием собственного веса, внешнего давления и изменения температуры ЭВВ после помещения его в скважину.

В мировой практике взрывных работ в подземных выработках широко используются эмульсионные взрывчатые вещества [13]. Однако полностью механизированное изготовление на месте применения в процессе заряжания восстающих взрывных скважин, горизонтальных и наклонных шпуров предохранительным (3-го класса) эмульсионным ВВ в условиях подземных горных выработок на предприятиях АК «АЛРОСА» (рудник «Удачный») применялось впервые в мировой практике. Использовалось НПГМ-ПР – промышленное эмульсионное взрывчатое вещество (ПЭВВ) 3-го класса (по условиям применения, согласно п. 256 и Приложения № 3) [14].

Задача придания ПЭВВ НПГМ-ПР предохранительных свойств З-го класса решена введением в состав ЭВВ кристаллического хлорида аммония (NH₄Cl) крупностью кристаллов 0,1–0,3 мм (порошок) в количестве 10–15 % (масс.) по отношению к эмульсии. Проведенные испытания показали эффективность указанной добавки и вводимого в ее состав количества. ПЭВВ НПГМ-ПР изготавливается на местах применения при температурном диапазоне окружающей среды от +2 до +26 °С на земной поверхности и в подземных выработках опасных по газу (до 3-го класса предохранительности включительно), по породам и рудам с содержанием сульфидов до 35 % (масс).

Экспериментальная оценка разрушительных свойств ЭВВ вышла за рамки традиционных лабораторий и переместилась на полигоны и (или) непосредственно на производство (опытно-промышленные взрывы). Применение экспериментального метода по измерению или оценке энергии Гарнея (метод «тест-цилиндра» [15, 16]) возможно только в условиях стационарного, хорошо оборудованного полигона. Применение метода воронкообразования при тест-взрыве в горной породе или в песчаной ванне в случае с широко распространенными наливными ЭВВ имеет свои сложности. Применение подводных взрыв-тестов требует очень большого водоема и специальной измерительной аппаратуры и не обеспечивает необходимую степень расширения взрывных газов [15, 16].

Определенный интерес для экспресс-тестов представляет методика ВостНИИ по обжатию стандартного свинцового крешера Гесса через массивную наковальню и воздушный промежуток, показавшая свою работоспособность в ряде экспериментов [17, 18]. Однако ограничение массы ВВ при тест-взрыве величиной 1 кг делает данную методику малопригодной при оценке работоспособности ВВ с критическим диаметром более 60 мм. В настоящей работе рассматривается метод оперативной оценки полноты тепловыделения при взрыве промышленных ВВ местного производства, которые осуществимы в условиях даже удаленных и труднодоступных горных предприятий.

Коэффициент полноты η тепловыделения Q_V при взрыве оценивается по формуле $\eta = Q_V / Q_T$, где $Q_T - расчетная$ (теоретическая) удельная теплота взрыва; определяется из уравнения разложения вещества BB, которое получают методом Г. А. Авакяна [19] или в соответствии с принципом Бринкли – Вильсона [17] (дают близкие значения Q_T).

Таким образом, величина полноты тепловыделения может быть оценена, если известны плотность, скорость детонации и коэффициент политропы *k*.

Измерение плотности ВВ не вызывает экспериментальных затруднений. Для измерения скорости детонации широко используются приборы, основанные на непрерывном измерении сопротивления специального кабеля, помещаемого в заряд ВВ (метод непрерывного измерения скорости детонации) [20]. Для измерения к предложен представленный ниже способ водяной ванны. Опыты удобно проводить с размещением цилиндрического заряда ВВ в резервуаре с водой. Вода является средой с надежно определенной ударной адиабатой [17, 19], не вступает в экзотермическую реакцию с продуктами взрыва и легкодоступна. Одна из возможных схем измерений представлена на рис. 1. Данная схема позволяет осуществлять непрерывную фиксацию скорости разрушения измерительного провода как в ВВ, так и вблизи заряда. Для замеров было предложено определять скорость детонации взрывчатого вещества *D*, а на участке, расположенном в воде, – скорость распространения ударной волны D_{v} .

Рассмотрим параметры ударной волны в воде при взрыве удлиненного безоболочного заряда ВВ. Введем следующие обозначения: *k*, γ – коэффициенты политропы и адиабаты продуктов взрыва; $\rho_{\rm BB}$, $\rho_{\rm H_{20}}$ – плотности ВВ и воды; $P_{\rm H}$, $P_{\rm x}$ – давление во фронте детонационной волны и фронте ударной волны в воде соответственно; u_e – массовая скорость воды за фронтом ударной волны.

Давление на фронте ударной волны в воде равно

$$P_{\rm x} = \rho_{\rm H_20} D_{\rm x} u_e \,\,, \tag{1}$$

где *u_e* – скорость движения частиц под действием продуктов взрыва. Ударную адиабату воды принимаем в виде [21]

 $D_{\rm x} = 1483 + 25306 \, \log(1 + u_{\rm p} / 5190)$ (2)



Рис. 1. Принципиальная схема эксперимента: 1 – заряд BB; 2 – вода; 3 – промежуточный детонатор, 4 – датчиковый провод Probecable-HT, 5 – реостатный прибор Handitrap VOD recorder

Скорость движения частиц воды под действием продуктов взрыва при скользящем ударе может быть найдена из выражения [21, 22]:

$$u_e = \frac{2kD}{k^2 - 1} \left(1 - \left(P_X / P_H \right)^{(k-1)/2k} \right).$$
(3)

Учитывая, что, согласно данным в [17, 19], $P_{\rm H} = \rho_{BB} D^2 / (k+1)$, на основании (1)–(3) получаем следующее уравнение для определения коэффициента политропы продуктов взрыва k:

$$\frac{1}{k+1} \cdot \left(1 - \frac{k^2 - 1}{2k}z\right)^{\frac{2k}{k-1}} = \frac{z\rho_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho_{\text{BB}}} \cdot \frac{1483 + 25306 \log\left(1 + \frac{D}{5190}z\right)}{D_{\text{BB}}}, (4)$$

где z = $u_{\rm e}/D = 5190/D(10^{(D_{\rm X}-1483)/25306}-1).$

Уравнение (4) решается относительно *k* любым численным методом.

Результаты исследований

Анализ результатов проведенных взрывов позволяет утверждать о том, что производительность выемочных работ при использовании Эмульпора вместо эмулана ПВВ-А70 не изменилась, но при этом появилась возможность заряжания скважин глубиной более 25–30 м без образования воздушных промежутков. При этом необходимо отметить слаженное функционирование связки «экскаватор – транспорт». Экскаватор ЭКГ-6,3УС работал совместно с самосвалами БЕЛАЗ 75131-10 (75310), экскаватор РН 2800 – с самосвалами БЕЛАЗ 75306, а экскаватор ЭШ 20/90 осуществлял уборку породы по бестранспортной схеме.

На основании результатов опытных взрывов рекомендуются эмульпоры, которые имеют разрушительные свойства, аналогичные эмулану ПВВ-А7О, для отбойки легко- и средневзрываемых пород, что подтверждает возможность практического использования таких ВВ, в том числе при взрывании сдвоенных уступов (скважины глубиной до 50 м), что невозможно осуществить с применением эмулана ПВВ-А7О.

На рис. 2 представлены результаты расчета величины усадок скважинного заряда ЭВВ при различных значениях температуры ЭВВ в момент взрыва (для сухих скважин). Аналогичные результаты получены для обводненных скважин при высоте столба воды над зарядом 5 м.

Расчеты выполнены для ЗВВ на монорастворе аммиачной селитры. Плотность ЗВВ при температуре +20 °C принималась равной 1,09 г/см³, а плотность матричной эмульсии – 1,33 г/см³. Температуру массива горных пород считали одинаковой (+10 °C). Температуру ЗВВ при контрольном измерении плотности принимали двойной: 40 °C (см. рис. 2, *a*) и +50 °C (см. рис. 2, *б*). Величина объемного коэффициента температурного расширения матричной эмульсии β считалась равной 0,0008 град⁻¹. Для оценочных расчетов, ввиду отсутствия экспериментальных данных, β определяли по формуле из работы [23]:

$$\beta = 1,5(1 - \mu)(2 - 3\mu)^{-1}c_{\mu}C^{-2}, \qquad (5)$$

где μ – коэффициент Пуассона (в данном случае μ = 0,5); c_v – удельная теплоемкость ЭВВ ($c_v \approx 2000$ Дж/(кг·град)); C – скорость звука в матричной эмульсии на монорастворе аммиачной

селитры (для матричной эмульсии на монорастворе аммиачной селитры *С* ≈ 2000 м/с).

Анализ зависимостей, приведенных на рис. 2, показывает, что учет термоусадки скважинного заряда ЭВВ позволяет более точно рассчитать высоту колонки заряда, что дает возможность более надежно управлять такими параметрами взрыва, как разлет кусков горной породы, обратный выброс, объем зоны неуправляемого разрушения горных пород. Практически термоусадку необходимо учитывать при высоте колонки заряда более 10 м.

Применительно к механизированному заряжанию зарядных камер предохранительными ЭВВ 3-го класса в условиях подземных выработок АК «АЛРОСА», в соответствии с настоящими Техническими условиями, изготавливаются ПЭВВ двух типов НПГМ-ПР: НПГМ-ПР тип «Н» (по ТУ 7276-004-37945333-2016) — где эмульсия изготовлена с применением натриевой селитры; НПГМ-ПР тип «К» (по тем же ТУ), где эмульсия изготовлена с применением кальциевой селитры.

Для изготовления НПГМ-ПР применяли эссенцию ПР типов «Н» и «К», газогенерирующую добавку ГГД. Допуск в производство вышеуказанных материалов должен осуществляться в соответствии с требованиями «Регламента технологического процесса изготовления НПГМ-ПР в смесительно-зарядных машинах МСЗП-4–011».

Авторами статьи разработан технологический процесс заряжания зарядных камер предохранительным ПЭВВ 3-го класса, включающий изготовление в мобильной модульной технологической линии ММТЛ-500-2 растворов селитры и транспортирование полученного ВВ к месту заряжания по подземным выработ-



Рис. 2. Зависимости величины усадок вертикального скважинного заряда ЗВВ от длины сформировавшегося заряда (сухая скважина) при температуре ЗВВ +40 °С (а) и 50 °С (б):

1 – термоусадка; 2 – гравитационная усадка; 3 – усадка заряда, всего

кам, а также перекачивание компонентов из кассеты доставщика в соответствующие баки смесезаправочной машины. Процессу заряжания сопутствуют следующие операции:

 калибровка (настройка) дозирующих устройств C3M по компонентам на соответствие компонентного состава требуемым пропорциям;

проверка калибровки путем индивидуальной проверки количества (объема, массы) каждого подаваемого компонента заданному количеству с помощью электронной панели управления C3M (бортовой компьютер);

 перемешивание эссенции и раствора ГГД при заряжании шпуров и скважин;

 контроль качества изготавливаемого НПГМ-ПР по показателю «плотность» через каждые 15 и 30 мин после изготовления образца;

 удаление остатков НПГМ-ПР из зарядного шланга (промывка или заполнение эссенцией);

 выгрузка пустой кассеты с доставщика на участке хранения компонентов ЭВВ;

 погрузка и доставка автотранспортом пустых кассет на стационарный пункт подготовки компонентов ЭВВ.

Подачу НПГМ-ПР в скважину (шпур) осуществляют посредством винтового насоса C3M по зарядному шлангу. Включение шланговращателя на извлечение зарядного шланга из скважины осуществляется только после заполнения ее на длину 0,5–1 м. При этом ЭВВ образуется только после смешивания эссенции с раствором ГГД. Плотность смеси должна составить не менее 1,1 г/см³, но не более 1,2 г/см³. До момента смешения эссенции и раствора ГГД эти раздельные (несмешанные) компоненты взрывобезопасны. Управление процессом зарядки скважин НПГМ-ПР осуществляется оператором с выносного пульта или с дистанционного пульта по радиоканалу.

Число промежуточных детонаторов (боевиков) и место их расположения в заряжаемой скважине регулируется Проектом технического взрыва и указывается в Паспорте (корректировочном расчете) каждого конкретного заряжаемого блока (забоя) в зависимости от принятой технологии заряжания и от конструкции заряда. Для удержания формируемого заряда в восстающей взрывной скважине применяют тканевые рукава и устройство для их размещения в скважине.

Для оценки полноты тепловыделения при детонации промышленных ВВ, изготавливаемых на местах применения, были проведены опытно-полигонные опыты. Осуществлен взрыв 90-миллиметрового заряда эмульсионного ВВ плотностью 1,06 г/см³ в воде (см. рис. 1). Длина заряда – 1000 мм, инициатор – патрон аммонита 6ЖВ массой 200 г. Оболочка заряда – полиамидная ткань. Способ сенсибилизации – гранулы пенополистирола диаметром 8–10 мм и насыпной плотностью 0,06 г/см³. Дозирование пенополистирола на смешение с эмульсией – объемное, на 3 объема эмульсии 2 объема гранул пенополистирола. Химический состав эмульсионной матрицы: раствор окислителей – 75 % NH₄NO₃; 15 % Ca(NO₃)₂; 10 % H₂O; топливная смесь: 25 % эмульгатор (РЭМ-5) + 75 % минеральное масло (И-20А). Процентное отношение окислителя и топливной фазы в эмульсии – 92:8. Плот-



Рис. 3. Зависимость изменения длины заряда эмульпора (плотность 1,06 г/см³ и диаметр 90 мм) от времени при взрыве в воде; оболочка заряда — полиамидная ткань

ность эмульсии до сенсибилизации — 1,414 г/см³. Результаты измерения скорости детонации представлены на **рис. 3**.

На основании вышеприведенной методики расчета параметров взрывного процесса имеем следующие значения показателей: коэффициент политропы продуктов взрыва k = 2,5; показатель политропы n = 1,93; массовая скорость воды за фронтом ударной волны $u_e = 496$ м/с; экспериментально полученная удельная теплота взрыва $Q_v = 352$ ккал/кг; расчетная (теоретическая) удельная теплота взрыва $Q_\tau = 682,1$ ккал/кг; коэффициент полноты тепловыделения $\eta = 0,516$.

При расчетах принимали следующие значения параметров: $\alpha = 0,45 \text{ см}^3/\text{г}$ [24]; $\gamma = 1,25$ [25]. Величина $Q_{_{\mathrm{T}}}$ определена из уравнения разложения вещества ЗВВ в соответствии с принципом Бринкли – Вильсона.

Оценим корректность полученного результата.

Согласно [25] для жидких ВВ наблюдается выполнение соотношения

$$D_{\rm BB} / D_{\rm BB}^{\rm max} \approx (d_{\rm sap} / d_{\rm npeg})^{0.6} , \qquad (6)$$

где $d_{\rm зар}, d_{\rm пред}$ — диаметр заряда ВВ и предельный диаметр соответственно; $D_{\rm BB}^{\rm max}$ — идеальная скорость детонации.

Так как $Q_V / Q_T \approx (D_{\rm BB} / D_{\rm BB}^{\rm max})^2$, то величина предельного диаметра будет равна $d_{\rm поеa} \approx d_{\rm заo} \eta^{-0.833}$.

В рассматриваемом случае расчетная величина предельного диаметра равна $d_{\rm пред} \approx 156$ мм. В ходе дополнительных экспериментов определено, что $d_{\rm пред} = 140 \div 150$ мм. Наблюдается удовлетворительное согласие расчетных и экспериментальных данных.

Заключение

Разработанная технология применения ЭВВ на основе пенополистирола эмульпоров, прошла успешное внедрение при производстве массовых взрывов, в том числе при глубине взрывных обводненных скважин до 50 м.

Учет термоусадки скважинного заряда ЭВВ (необходимо учитывать при высоте колонки заряда более 10 м) позволяет более точно рассчитать высоту колонки заряда и более надежно управлять такими параметрами взрыва, как разлет кусков горной породы, обратный выброс, объем зоны неуправляемого разрушения горных пород.

Разработанная технология заряжания зарядных камер предохранительным эмульсионным промышленным ВВ 3-го класса НПГМ-ПР была успешно испытана и применена на руднике «Удачный» АК «АЛРОСА», что позволило впервые в мировой практике осуществлять механизированное заряжание предохранительным

Библиографический список

- 1. *Трубецкой К. Н., Викторов С. Д., Закалинский В. М.* Новая концепция совершенствования буровзрывных работ на подземных рудниках // Горный журнал. 2002. № 9. С. 9–12.
- Кутузов Б. Н. Справочник взрывника: в 2 ч. Сер.: Библиотека горного инженера. М.: Горное дело 000 «Киммерийский центр», 2014. Т. 10. Взрывное дело. Кн. 1. Ч. II. Техника, технология и безопасность взрывных работ. – 304 с.
- Еременко А. А. Совершенствование технологии буровзрывных работ на железорудных месторождениях Западной Сибири. – Новосибирск : Наука, 2013. – 192 с.
- Singh S. P., Abdul H. Investigation of blast design parameters to optimize fragmentation // Rock Fragmentation by Blasting (Fragblast 10): Proceedings of the 10th International Symposium. – Boca Raton: CRC Press, 2013. P. 181–187.
- Сивенков В. И., Иляхин С. В., Маслов И. Ю. Эмульсионные взрывчатые вещества и неэлектрические системы инициирования. – М.: Щит-М, 2013. – 320 с.
- Мосинец В. Н., Абрамов А. В. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород. – М.: Недра, 1982. – 248 с.
- Castedo R., Natale M., López L. M., Sanchidrián J. A., Santos A. P. et al. Estimation of Jones-Wilkins-Lee parameters of emulsion explosives using cylinder tests and their numerical validation // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2018. Vol. 112. P. 290–301.
- Афанасенков А. Н., Котова Л. И., Кукиб Б. Н. О работоспособности промышленных взрывчатых веществ // Физика горения и взрыва. 2001. № 3. С. 115–125.
- Дугарцыренов А. В., Ким С. И., Бельченко Е. Л., Николаев С. П. Требования к выбору параметров БВР для дробления сложноструктурных массивов горных пород комбинированными и дополнительными зарядами // Взрывное дело. 2015. № 113/70. С. 142–148.
- Minchinton A. On the Influence of Fundamental Detonics on Blasting Practice // Rock Fragmentation by Blasting : Proceedings of the 11th International Symposium. – Sydney, 2015. P. 41–53.
- Roy D., Williams T., Preston C. Underground Stope and Blast Design Optimisation Program // Fragmentation by Blasting (Fragblast 11) : Proceedings of the 11th International Symposium. – Sydney, 2015.
- Жученко Е. И., Иоффе В. Б., Кукиб Б. Н., Сундуков И. Ю., Оверченко М. Н. Применение ЭВВ, сенсибилизированных методом газогенерации, в глубоких скважинах // Безопасность труда в промышленности. 2002. № 11. С. 30–32.

«GORNYI ZHURNAL», 2018, № 11, pp. 82–87 DOI: 10.17580/gzh.2018.11.15

Express-method determination of emulsion explosive efficiency

Information about authors

- I. Yu. Maslov¹, Candidate of Engineering Sciences, Chief Engineer
- 0. S. Bryukhovetsky², Professor, Doctor of Engineering Sciences, bos.rggru@mail.ru
- P. A. Bragin¹, Chief Drilling-and-Blasting Specialist
- S. V. Ilyakhin², Professor, Doctor of Engineering Sciences
- ¹Global Mining Explosive—Russia, Moscow, Russia

²Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, Moscow, Russia

Abstract

The priority trend in blasting in mining is application of emulsion explosives in watered rocks both in Russia and abroad. These explosives are waterproof, safe and permit wide variation in their explosive characteristics. However, with the sensitization of EE (gas bubbles) with gas pores, an increase in the density of the explosive occurs with an increase in the depth of holes, which reduces the reliability of their detonation and, under certain conditions, leads to failure, which entails large material losses. To

ПЭВВ 3-го класса зарядных камер (шпуров и скважин) в подземных условиях.

При детонации промышленных BB, изготавливаемых на местах применения, теплота фактического тепловыделения ниже теоретически рассчитанного на 20–40 %. Разработана методика определения и расчета полноты тепловыделения при взрыве зарядов BB на месте производства взрывных работ, что позволяет осуществлять корректировку параметров БBP в полигонных условиях.

- Blasters' Handbook. 18th ed. Cleveland : International Society of Explosives Engineers, 2016. – 1030 p.
- 14. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах». – М. : НТЦ ПБ, 2015. Серия 13. Документы по безопасности, надзорной и разрешительной деятельности в области взрывных работ и изготовления взрывчатых материалов. Вып. 14. – 329 с.
- Кудзило С., Кохличек П., Тржчинский В. А., Зееман С. Рабочие характеристики эмульсионных взрывчатых веществ // Физика горения и взрыва. 2002. № 4. С. 95–102.
- Nyberg U., Arvantidis I., Olsson M., Ouchterlony F. Large size cylinder espansion tests on ANFO and gassed bulk explosives // Explosives and Blasting Technique : Proceedings of EFEE Second World Conference of Explosives and Blasting Technique. – Lisse : A.A. Balkema Publishers, 2003. P. 181–192.
- Викторов С. Д., Старшинов А. В., Жамьян Ж. Экспериментальная оценка и сравнение работоспособности смесевых взрывчатых веществ различного состава // Взрывное дело. 2011. №105/62. С. 142—150.
- Старшинов А. В., Литовка О. Б., Колпаков В. И., Григорьев Г. С. Определение взрывной эффективности промышленных ВВ по обжатию свинцового столбика через воздушный промежуток // Взрывное дело. 2010. № 103/60. С. 178–189.
- Авакян Г. А. Расчет энергетических и взрывчатых характеристик ВВ (метод Военной инженерной академии им. Ф. Э. Дзержинского) : учеб. пособие. – М. : Изд-во ВИА, 1964. – 106 с.
- Маслов И. Ю., Пулков В. В., Кампель Ф. Б., Славский Б. В., Тогунов М. Б. и др. Метод непрерывного измерения скорости детонации зарядов промышленных ВВ // Взрывное дело. 2006. № 96/53. С. 101–113.
- 21. *Баум Ф. А., Станюкович К. П., Шехтер Б. И.* Физика взрыва. М. : Физматлит, 1959. 800 с.
- 22. *Орленко Л. П.* Физика удара и взрыва : учеб. пособие. М. : Физматлит, 2006. 304 с.
- Беломестных В. Н. Акустический параметр Грюнайзена твердых тел // Письма в журнал технической физики. 2004. Т. 30. Вып. 3. С. 14–19.
- 24. *Кутузов Б. Н., Горинов С. А.* Расчет детонационных параметров аммиачноселитренных ВВ // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 6. С. 40–49.
- 25. *Кук М. А.* Наука о промышленных взрывчатых веществах : пер. с англ. М. : Недра, 1980. 453 с. 🖾

reduce the prime cost of explosive preparation of rock mass and to solve the above-mentioned technical and economic problems inherent in elongated EE charges, it is possible to use granules of expanded polystyrene as an EE sensitizer. The application of EE sensitized with foamed polystyrene (Emulpore) allows changing the density of EE, and hence the volume concentration of energy, in a much wider range (from 300 to 1150 kg/m³)When using EE, both at the design stage and at the stage of practical application, it is necessary to know the height of the charge column at the time of initiation. In the present work, the results of the calculated shrinkage values of gas-sensitized EE charges under the action of own weight, external pressure and the change in the EE temperature after placement in hole are presented. The calculations were performed for EE in mono-solution of ammonium nitrate. The allowance for heat shrinkage of EE charge enables more accurate calculation of the height of the charge column.

For the first time in the international practice of underground mine blasting, fully mechanized production of commercial class II NPGM-PR emulsion explosive for upward, horizontal and inclined blastholes has been implemented at ALROSA. The present article authors have developed the mechanized charging procedure for underground blasting with the commercial emulsion explosives.

In manufacture of industrial explosives in mines, it is difficult to ensure fixed properties of explosives due to peculiarities of technology, skills, etc. This is especially true for the mines in hard-to-reach and under-populated areas of the Polar Urals, East Siberia and Far East of Russia. This article considers the method of operative assessment of heat release efficiency under blasting with commercial explosive of local production. The studies show that blasting of industrial explosives manufactured on-site produces actual heat release lower by 20–40 % than the theoretically calculated value. A procedure has been developed for processing experimental data for calculating completeness of heat release under blasting. **Keywords:** emulsion, polystyrene foam, explosives, safety explosives, heat shrinkage, heat of explosion, charging.

References

- Trubetskoy K. N., Viktorov S. D., Zakalinsky V. M., New concept of drilling-and-blasting improvement in underground mines. *Gornyi Zhurnal*. 2002. No. 9. pp. 9–12.
- Kutuzov B. N. Shot-Firer's Manual. In two volumes. Series: Mining engineer's library. Moscow : Gornoe delo LLC «Kimmeriyskiy tsentr», 2014. Vol. 10. Blasting. Book. 1. Iss. II. Technique, Technology and Safety of Blasting. 304 p.
- Eremenko A. A. Improvement of technology of drilling and blasting operations at iron ore deposits of Western Siberia. Novosibirsk : Nauka, 2013. 192 p.
- Singh S. P., Abdul H. Investigation of blast design parameters to optimize fragmentation. Rock Fragmentation by Blasting (Fragblast 10): Proceedings of the 10th International Symposium. Boca Raton: CRC Press, 2013. pp. 181–187.
- Sivenkov V. I., Ilyakhin S. V., Maslov I. Yu. Emulsion explosives and non-electric initiation systems. Moscow : Shchit-M, 2013. 320 p.
- Mosinets V. N., Abramov A. V. Destruction of fissured and disturbed rocks. Moscow : Nedra, 1982. 248 p.
- Castedo R., Natale M., López L. M., Sanchidrián J. A., Santos A. P. et al. Estimation of Jones-Wilkins-Lee parameters of emulsion explosives using cylinder tests and their numerical validation. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2018. Vol. 112. pp. 290–301.
- Afanasenkov A. N., Kotova L. I., Kukib B. N. Strength of commercial explosives. Combustion, Explosion, and Shock Waves. 2001. Vol. 37, No. 3. C. 349–358.
- Dugartsyrenov A. V., Kim S. I., Belchenko E. L., Nikolaev S. P. Design standards for drilling-andblasting with combination and boasting charges in complex-structure rock masses. *Vzryvnoe delo*. 2015. No. 113/70. pp. 142–148.
- Minchinton A. On the Influence of Fundamental Detonics on Blasting Practice. Rock Fragmentation by Blasting : Proceedings of the 11th International Symposium. Sydney, 2015. pp. 41–53.

- Roy D., Williams T., Preston C. Underground Stope and Blast Design Optimisation Program. Fragmentation by Blasting (Fragblast 11): Proceedings of the 11th International Symposium. Sydney, 2015.
- Zhuchenko E. I., Ioffe V. B., Kukib B. N., Sundukov I. Yu., Overchenko M. N. Application of gas bubblesensitized emulsion explosives in deep holes. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*. 2002. No. 11. pp. 30–32.
- 13. Blasters' Handbook. 18th ed. Cleveland : International Society of Explosives Engineers, 2016. 1030 p.
- Industrial Safety Federal Code: Safety Regulations for Blasting. Moscow : NTS PB, 2015. Series 13. Documents on Safety, Supervision and Permission in Blasting and Explosive Production. Iss. 14. 329 p.
- Kudzilo S. Kokhlichek P., Trzhchinsky V. A., Zeeman S. Emulsion explosive specifications. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*. 2002. Vol. 38, No. 4. pp. 95–102.
- Nyberg U., Arvantidis I., Olsson M., Ouchterlony F. Large size cylinder expansion tests on ANFO and gassed bulk explosives. Explosives and Blasting Technique: Proceedings of EFEE Second World Conference of Explosives and Blasting Technique. Lisse: A.A. Balkema Publishers, 2003. pp. 181–192.
- Viktorov S. D., Starshinov V. A., Zhamyan Zh. Experimental estimation and comparison of efficiency achieved with explosive mixture of different compositions. *Vzryvnoe delo*. 2011. No. 105/62. pp. 142–150.
- Starshinov A. V., Litovka O. B., Kolpakov V. I., Grigoriev G. S., Determination of commercial explosive efficiency by the compression of lead column with air gap. *Vzryvnoe delo*. 2010. No. 103/60. pp. 178–189.
- Avakyan G. L. Calculation of Energy and Blasting Characteristics of Explosives (Method of Dzerzhinsky Military Engineering Academy): Educational Aid. Moscow : VIA, 1964. 106 p.
- Maslov I. Yu., Pupkov V. V., Kampel F. P., Slavsky B. V., Togunov M. B. et al. Method of continuous measurement of commercial explosive detonation velocity. *Vzryvnoe delo*. 2006. No. 96/53. pp. 101–113.
- 21. Baum F. A., Stanyukovich K. P., Shekhter B. I. Physics of Explosion. Moscow : Fizmatlit, 1959. 800 p.
- 22. Orlenko L. P. Physics of Shock and Explosion : Educational Aid. Moscow : Fizmatlit, 2006. 304 p.
- Belomestnykh V. N. The Gruneisen parameter of solids. Pisma v zhurnal tekhnicheskoi fiziki. 2004. Vol. 30, No. 3. pp. 14–19.
- Kutuzov B. N., Gorinov S. A. Calculation of detonation parameters for ammonium nitrate-based explosives. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*. 2010. No. 6. pp. 40–49.
- 25. Cook M. A. The Science of Industrial Explosives. Translated from English. Moscow : Nedra, 1980. 453 p.

УДК 622.235

ВЛИЯНИЕ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ВЫБОР ВЕЛИЧИНЫ ПЕРЕБУРА СКВАЖИННОГО ЗАРЯДА

В. М. БОРЫЧЕВ, старший научный сотрудник, канд. техн. наук С. В. ИЛЯХИН, проф., д-р техн. наук, isv11@mail.ru О. С. БРЮХОВЕЦКИЙ, проф., д-р техн. наук

Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Москва, Россия

Введение

Эффективность взрывной отбойки горных пород на карьерах и подземных рудниках непосредственно связана с выбором рациональных параметров буровзрывных работ (БВР) [1–12]. Существующие методики расчета данных параметров, как правило, основываются на практическом опыте работы той или иной специализированной организации. При использовании этих методик при проектировании параметров БВР и в инженерных расчетах наблюдается существенный субъективизм в принятии исходных коэффициентов в расчетных формулах, а сами формулы не учитывают в полной мере влияние основных горнотехнических факторов на конечный результат расчета. Приведены существующие зависимости для определения величины перебура скважинного заряда. На основе многофакторного анализа выведена новая формула для расчета этой величины.

Ключевые слова: горнотехнические факторы, методика расчета, параметры буровзрывных работ, перебур, заряд взрывчатого вещества, многофакторный анализ.

DOI: 10.17580/gzh.2018.11.16

Анализ имеющихся рекомендаций по выбору величины перебура

По принятым в проектном деле методикам определяются следующие основные параметры БВР: линия сопротивления по подошве уступа (ЛСПП) – W, расстояние между скважинами в ряду – a и между рядами – b, величина перебура – $L_{\rm nep}$, длина забойки – $L_{\rm заб}$, длина заряда – $L_{\rm зар}$, длина скважины – $L_{\rm скв}$, масса заряда скважины – $Q_{\rm скв}$, выход горной породы с 1 м скважины, проектный удельный расход взрывчатого вещества (ВВ) – $q_{\rm n}$.

© Борычев В. М., Иляхин С. В., Брюховецкий О. С., 2018