УДК 622.235

А.С.ЖИЛИН
Уральская государственная горно-геологическая академия, Екатеринбург

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДРОБЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Рассмотрены перспективы использования поверхностно-активных веществ (ПАВ) для повышения качества дробления горных пород взрывом. На основе глубокой аналогии ударного и взрывного разрушения горных пород отработана процедура определения характеристик гранулометрического состава пород, удельной энергоемкости разрушения и нормированного импульса дробления, являющегося константой материала. Экспериментальное определение этой константы позволяет оценить оптимальные параметры буровзрывных работ при изменении свойств горных пород под воздействием ПАВ. Установлено, что насыщение известняков оптимально подобранным ПАВ (0,1-процентным раствором $MgCl_2$) позволяет снизить на 15 % удельный расход ВВ и на 7 % пробивное расстояние при обеспечении заданного качества дробления горных пород.

The prospects of use of surface-active agents for increasing the quality of crushing of rocks by explosion are considered. On the basis of analogy between percussion and explosive destruction of rocks the procedure of definition of the granulemetrical characteristics of structure of soils, specific power consumption of destruction and normalized pulse of crushing, being a constant of a material, is obtained. The experimental definition of this constant allows to estimate optimum parameters of drilling-and-blastings at change of properties of rocks under influence of surface-active agents .It is established, that the saturation of chalkstones optimum picked up by surface-active agents – 0,1 % solution $MgCl_2$ – allows to lower on 15 % the specific charge of explosive and on 7 % penetrative distance at maintenance of preset quality of crushing of rocks.

Повышение качества дробления горных пород ударом и взрывом может быть достигнуто путем направленного изменения параметров процесса и свойств разрабатываемых пород. Эффективным средством управления свойствами и состоянием горных пород являются поверхностно-активные вещества (ПАВ), действие которых проявляется в адсорбционном понижении поверхностной энергии тел (эффект Ребиндера) [1]. Это приводит к активизации трещинообразования и общему снижению прочности горных пород. Обработка массива специально подобранными растворами ПАВ значительно повышает эффективность процессов механического разрушения пород. Так, промышленные испытания в условиях шахт Урала и Донбасса показали [3], что скорость бурения шпуров и скважин с промывкой активными растворами на 20-50 % повышает производительность процесса, в 1,2-2 раза снижает износ и затупление бурового инструмента, в 1,5-3,7 раза уменьшает выход пыли. Разработаны методики выбора оптимальных ПАВ и проектирования технологии бурения и резания горных пород. Такой же положительный эффект использования ПАВ ожидается при разрушении горных пород взрывом [4]. Исследованиям в этом направлении и посвящена предлагаемая работа.

Рациональное использование ПАВ при взрывном разрушении горных пород требует решения следующих задач:

- разработки методики выбора эффективных растворов ПАВ;
- создание методов расчета оптимальных параметров БВР в условиях направленного изменения свойств и состояния горных пород.

Наиболее надежным способом решения этих задач является проведение опытных

взрывов на горных предприятиях, однако трудоемкость таких опытов настолько велика, что целесообразен предварительный теоретический анализ задач. За основу принята доказанная многочисленными исследованиями [5] глубокая аналогия процессов разрушения горных пород ударом и взрывом, в частности, общность закономерностей дробления пород ударным и взрывным импульсом. Характеристики дробления горных пород определялись на копре с падающим грузом. В качестве объекта экспериментальных исследований выбраны известняки Североуральских бокситовых месторождений. Выбор именно этих пород обусловлен достаточной однородностью их состава и строения, а также всесторонней изученностью характеристик их разрушаемости, в том числе взрывом. Оптимальной поверхностно-активной средой для данных известняков является 0,1-процентный раствор $MgCl_2$.

На первом этапе производилась отработка методики экспериментальных исследований. Установлена процедура определения рациональных параметров опыта (тип и размеры образцов, необходимое число определений, энергия и скорость удара), обеспечивающих заданную надежность результатов для данной горной породы, разработана компьютерная программа расчета характеристик дробимости [2]. На втором этапе исследовалось влияние ПАВ на разрушаемость горных пород.

Насыщение образцов раствором ПАВ существенно снижает прочность горных пород. Так, прочность при растяжении, сжатии и сдвиге исходных пород (известняка) соответственно 16,2; 129 и 32,3 МПа. Под действием раствора $MgCl_2$ прочность известняка уменьшилась до 8,5; 85,0 и 19,7 МПа, т.е. наблюдалось разупрочнение пород в 1,520-1,91 раза.

В ходе дробления горных пород ударом падающего груза определялся фракционный состав продуктов разрушения и вычислялись следующие характеристики:

- средний размер куска $d_{ср}$;
- коэффициент неоднородности дробления $k = d_{60} / d_{10}$ как отношение размеров кусков, составляющих 60 и 10 % от общей массы фракций;
- степень дробления $J = D / d_{ср}$, где D – размер исходного куска;
- удельная энергоемкость дробления $q = Q / S_н$, определяемая как отношение энергии удара к величине вновь образованной поверхности;
- параметры распределения кусков по размерам (уравнение Вейбулла $M_i = 1 - \exp[-(bd_i / d_{ср})^m]$.

Сравнение средних по критерию Стьюдента показало, что действие ПАВ существенно (с надежностью вывода более 99 %) изменяет характеристики дробимости известняка. Так, средний размер дробленого продукта уменьшается за счет действия ПАВ с 4,71 до 4,38 мм, степень дробления увеличивается с 5,76 до 6,15, заметно снижается энергоемкость дробления: с 26,7 до 20,3 Дж/м^2, т.е. на 30 %. Кроме того, растет коэффициент неоднородности дробления (с 12,6 до 16,3) падает нормированный импульс дробления (с 563 до 491 Н·с/м^3).

Показатель нормируемого импульса дробления предложен В.М.Мальцевым в качестве константы горной породы, характеризующей ее сопротивляемость разрушению ударной нагрузкой:

$$I_н = \rho \upsilon_{уд} / J^2,$$

где ρ – плотность горной породы, $\upsilon_{уд}$ – скорость удара.

Достоинством показателя $I_н$ является то, что в нем автоматически учитывается заданная степень дробления пород. Лабораторными исследованиями автора установлено, что для широкой гаммы скальных пород (изучено 20 литотипов) при самой разной энергии удара, варьирование которой достигалось изменением массы и высоты сбрасывания ударника, нормированный импульс дробления остается величиной постоянной. Экспериментальная оценка этой величины позволяет обоснованно проектировать параметры БВР с учетом требуемой степени дробления горных пород. При взрыве удлиненного заряда (а именно такая конструкция используется преимущественно при ведении горных работ) основное разрушающее действие оказывает боковой импульс. На долю торцевого импульса приходятся лишь доли

процента. Исходя из этого, В.М.Мальцевым получены основные соотношения для расчета ЛНС и удельного расхода ВВ при взрывании на неограниченную свободную поверхность и при работе заряда на ограниченную врубовую полость.

Удельный расход ВВ, обеспечивающий заданную степень дробления J,

$$q = \frac{I_н J^2 d}{\alpha D L_{зар}},$$

где d и $L_{зар}$ – диаметр и длина заряда ВВ; D – скорость детонации применяемого ВВ; α – коэффициент, зависящий от способа инициирования заряда ВВ, при прямом инициировании $\alpha = 0{,}74$.

Линия наименьшего сопротивления (ЛНС) заряда шпура в комплекте при взрывании на неограниченную свободную поверхность

$$W_0 = \frac{1}{J}\sqrt{\frac{\pi\alpha d L_{зар} D \rho_{ВВ}}{4\eta m I_н}},$$

где $\rho_{ВВ}$ – плотность применяемого ВВ; η – коэффициент использования шпуров; m – коэффициент сближения зарядов.

Широкомасштабные промышленные испытания (150 опытных взрывов) для различных горных пород и условий показали, что расхождение между расчетными данными и реально полученными результатами не превышает 17 %. Такую точность следует признать вполне приемлемой для производственных условий.

В наших экспериментах, средний коэффициент вариации экспериментально полученных значений нормированного импульса дробления исследованных известняков 23 %. В диапазоне скоростей удара от 3 до 7 м/с наблюдается нелинейный рост степени дробления пород, описываемый квадратической зависимостью $J = 0{,}085\upsilon_{уд}2 - -0{,}3\upsilon_{уд} + 2{,}67$ с теснотой связи $R^2 = 0{,}995$. Так как в формуле для $I_н$ величина J также в квадрате, нормированный импульс дробления от скорости удара не зависит. Действительно, эксперименты показали его стабильность: коэффициент вариации составил 17,6 %. Оценка влияния на $I_н$ размеров образца показала, что для кубических образцов со стороной более 15 мм нормированный импульс дробления становится постоянным. Коэффициент вариации 19,5 % не превышает естественного разброса данных (23 %). Вместе с тем соотношение размеров образца и энергии удара должно быть таким, чтобы обеспечить равномерное качество дробления. Отработанная процедура планирования эксперимента позволяет определить оптимальные параметры дробления для разных по прочности горных пород. Для пород, аналогичных по свойствам изученным известнякам, дробление может осуществляться на стандартном копре, обеспечивающем высоту сбрасывания до 0,7 м и массе бойка до 16 кг при скорости удара 3-4 м/с.

Экспериментально определенный нормированный импульс дробления для изучавшихся известняков бокситовых месторождений Северного Урала в среднем составляет 563 Н·с/м^3. Оценочные расчеты параметров БВР при проходке вертикальных и горизонтальных выработок шахт СУБРа, выполненные по приведенным формулам, дают результаты, сопоставимые с данными реальных паспортов БВР. Обработка известняков 0,1-процентным раствором $MgCl_2$ уменьшает $I_н$ до величины 491 Н·с/м^3, что позволяет при обеспечении того же качества дробления снизить удельный расход ВВ в 1,15 раза и увеличить ЛНС на 7 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Горюнов Ю.В.* Эффект Ребиндера / Ю.В.Горюнов, Н.В.Перцов, Е.Д.Щукин. М.: Наука, 1966. 178 с.

2. *Жилин А.С.* Экспериментальное исследование дробимости горных пород ударом и взрывом // Новые технологии и пути экономии затрат на предприятиях горно-металлургического комплекса: Сб. докл. Первой молодежной науч.-практ. конф. / УГМК-Холдинг. В.Пышма, 2003. С. 122-123.

3. *Латышев О.Г.* Использование поверхностно-активных веществ в процессах горного производства // Известия Уральской гос. горно-геологической академии. Сер. Горное дело. 2000. Вып. 11. С.153-159.

4. *Латышев О.Г.* Оценка эффективности разрушения горных пород взрывом / О.Г.Латышев, О.О.Анохина // Вестник КузГТУ (Материалы Российско-китайского симпозиума). 2002. № 5. С. 55-56.

5. *Падуков В.А.* Разрушение горных пород при ударе и взрыве / В.А.Падуков, В.А.Антоненко, Д.С.Подозерский. Л.: Наука, 1971. 161 с.

Научный руководитель д.т.н. проф. *О.Г.Латышев*