УДК 622/235

О.Г.ЛАТЫШЕВ, И.С.ОСИПОВ, О.О.АНОХИНА
Уральский государственный горный университет,
г.Екатеринбург, Россия

УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ ГОРНЫХ ПОРОД В ПРОЦЕССАХ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Рассмотрено применение поверхностно-активных веществ с целью управления свойствами и состоянием разрушаемых пород при бурении и взрывании. Результаты экспериментальных и теоретических исследований при дроблении известняков и гранитов показали их высокую активность: увеличилась на 41 % плотность активируемых нарушений, удельный расход взрывчатых веществ при сохранении качества дробления горной массы снизился на 30 %.

Questions of application of superficially active substances are considered with the purpose of management of properties and a condition of destroyed breeds at drilling and detonation. Results of experimental and theoretical researches at crushing limestones and Granite have shown their high activity. The density active destruction infringements has increased for 41 %, the specific charge of explosives has decreased on 30 % at preservation of quality of crushing of mountain weight.

Перспективным направлением повышения эффективности буровзрывных работ (БВР) является управление свойствами и состоянием разрушаемых пород. Эффективным инструментом такого управления могут служить поверхностно-активные вещества (ПАВ), действие которых основано на адсорбционном понижении свободной поверхностной энергии тел (эффект Ребиндера) [2]. Специально подобранные растворы ПАВ в их оптимальной концентрации существенно снижают прочность и энергоемкость разрушения горных пород. Применительно к процессам БВР это позволяет получить следующие положительные результаты:

1. Повышение скорости бурения шпуров и скважин. При последовательном многократном воздействии бурового инструмента на горную породу образуется достаточно обширная зона трещиноватости (зона предразрушения). При введении ПАВ в промывочную жидкость активные молекулы проникают в эту зону, существенно ослабляя (от 20 до 70 %) разрушаемый массив. Опытно-промышленное бурение в условиях шахт Урала и Донбасса показало увеличение скорости бурения шпуров и скважин в 1,2-1,5 раза.

На основе аналитических и экспериментальных исследований установлены критерии эффективности для различных способов бурения [3]. В частности, для перфораторного бурения

$$K_{\text{п}} = \ln\left\{ q_i \rho E \left[\frac{nQ}{d^2 \tau_{\text{сдв}} f_{\text{тр}} (\sigma_{\text{р}} + \sigma_{\text{сж}} + \tau_{\text{сдв}})} \right]^2 \right\},$$

где ρ – объемная масса горных пород; E – модуль упругости; $\sigma_{\text{р}}$, $\sigma_{\text{сж}}$ и $\tau_{\text{сдв}}$ – прочность пород при растяжении, сжатии и сдвиге соответственно; d – диаметр шпура; $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения материала коронки о породу; n и Q – частота и энергия ударов.

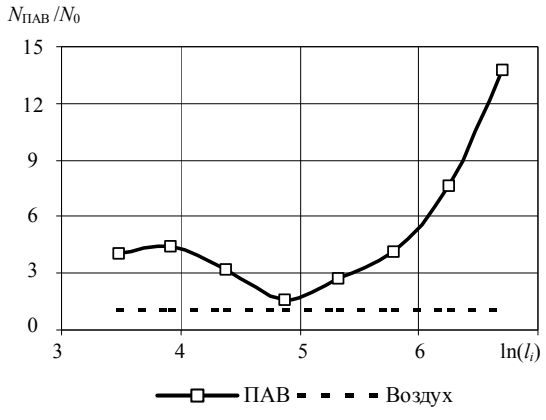
Нормирующий множитель q_i подбирается таким образом, чтобы для конкретных горно-геологических условий критерий изменялся от 1 до 10. Использование данного критерия позволяет априорно по результатам лабораторного определения свойств горных пород определить эффективность использования ПАВ при бурении. Так, по результатам шахтных испытаний установ-

лено, что скорость перфораторного бурения $\upsilon_б$ связана с величиной критерия следующим соотношением:

$$\upsilon_б = 0{,}05K_п^{2,6}.$$

2. Снижение износа и затупления бурового инструмента. Добавка в промывочную жидкость ПАВ значительно усиливает смазывающее действие из-за образования адсорбционных слоев молекул раствора, прочно связанных с поверхностью соприкасающихся тел. Так, абразивность различных пород под воздействием ПАВ снижается до 2 раз. В указанных опытно-промышленных испытаниях получено уменьшение затупления и абразивного износа бурового инструмента в среднем в 1,2-1,4 раза, что позволило увеличить пробег коронок до их замены более чем в 2 раза.

3. Уменьшение запыленности шахтной атмосферы. Борьба с пылью производится в двух основных направлениях: уменьшение образования пыли в ходе технологического процесса и подавление уже образовавшейся пыли. Использование ПАВ дает положительные результаты и в том, и в другом направлении. При механическом бурении основное количество пыли образуется за счет работы ядра уплотнения, образующегося под рабочим инструментом. При взрывном разрушении основная масса пыли выделяется при мгновенной разгрузке пород в зоне объемного сжатия. Снижение прочности и пластифицирование горных пород под действием ПАВ ослабляет процесс пылеобразования. С другой стороны, использование ПАВ уменьшает поверхностное натяжение и угол краевого смачивания воды, что обеспечивает более интенсивное слипание частиц тонкой пыли и выпадение ее из атмосферы. Аналитические оценки и шахтные замеры [4] показали, что при бурении шпуров с использованием в качестве промывочной жидкости растворов ПАВ уменьшается запыленность шахтной атмосферы в 2,0-3,7 раза.



Относительная концентрация трещин в горной породе

4. Повышение эффективности дробления горных пород ударом и взрывом. При взрывном воздействии основным критерием разрушаемости монолитных горных пород является распределение в них микротрещин еще на стадии, предшествующей разрушению [6]. Насыщение нагруженных горных пород растворами ПАВ приводит к существенному росту их трещиноватости [7]. Общая концентрация трещин возрастает почти в 4 раза. В такой же пропорции увеличивается их удельная поверхность. Причем наибольший рост концентрации N отмечается для самых малых и самых больших по размерам (l_i) трещин (см. рисунок), что свидетельствует о зарождении под действием ПАВ новых микротрещин и росте уже существующих трещин. Первый процесс обусловлен активизацией движения дислокаций и объединения их в микротрещины. В соответствии с кинетической теорией прочности это эквивалентно увеличению под действием ПАВ активационного объема. Особенно заметна положительная роль ПАВ в процессе роста уже существующих в породе трещин. Это вызвано (в соответствии с теорией Гриффитса) понижением поверхностной энергии горных пород. Дополнительный эффект оказывает расклинивающее действие атомов при их двумерной миграции к устью трещины.

В силу кратковременности действия взрыва участвовать в процессе разрушения горных пород способны не все, а только некоторая часть трещин и других дефектов, которые называются активируемыми нарушениями. Установлено [1], что гранулометрический состав разрушенных взрывом горных пород описывается распределением

$F_x = \omega_1 F_{1x} + \omega_2 F_{2x}$ при $\omega_1 + \omega_2 = 1$, где F_{1x} – вероятностная функция распределения кусков породы по размерам, образованных действием прямой волны; F_{2x} – распределение кусков, образованных действием волны, отраженной от свободной поверхности; ω_1 и ω_2 – доля первого и второго механизмов при дроблении горных пород взрывом. Распределение F_{2x} может иметь различный аналитический вид в зависимости от условий взрывания и свойств горных пород, а распределение F_{1x} независимо от параметров взрыва имеет экспоненциальное распределение вида $F_{1x} = 1 - \exp(-\gamma L_x)$ где γL – параметр, пропорциональный плотности активируемых взрывом нарушений в породе (на единицу длины). Величина γL зависит от общего числа дефектов разрушаемой породы γ_0 и удельного расхода ВВ q: $\gamma L = \gamma_0 q_n$, где показатель степени n определяется типом взрывной волны (для плоского заряда $n = 1$, для цилиндрического – $n = 1/2$).

На основе этих представлений В.А.Безматерных [1] разработана методика расчета параметров БВР, обеспечивающих требуемое качество дробления горных пород с заданной степенью надежности. В основу методики в качестве критерия положена концентрация взрывом активируемых нарушений γL. Однако определение этой величины предусматривается по результатам опытных взрывов, что создает известные трудности. Нами предложена методика оценки концентрации активируемых нарушений путем моделирования взрыва на ударном копре [5], где аналогом удельного расхода ВВ служит энергия удара Q. В частности, для известняков Североуральских бокситовых месторождений (СУБР) установлено, что $\gamma L = 0{,}56 Q_n$. Высокий индекс корреляции ($R = 0{,}97$) свидетельствует о статистической значимости полученной зависимости. Величина показателя $n = 1{,}1$ достаточно близка к единице, т.е. условия разрушения пород ударом соответствуют действию плоской волны напряжений. Таким образом, по результатам анализа гранулометрического состава горных пород, разрушенных свободным ударом, можно оценить концентрацию активируемых нарушений.

Действие ПАВ существенно активизирует процесс трещинообразования в горных породах. Так, исследование ударного разрушения известняков СУБРа показало, что насыщение пород раствором ПАВ ($MgCl_2$ – 0,1 %) увеличивает плотность активируемых нарушений при одинаковых условиях дробления в 1,41 раза или на 41 %. Следовательно, в соответствии с методикой [1] в такой же пропорции возможно увеличение ЛНС зарядов или снижение удельного расхода ВВ при том же качестве дробления горных пород. При неизменных параметрах взрывания использование ПАВ способно повысить качество дробления пород.

Исследование параметров трещиноватости достаточно трудоемкая процедура. Для экспрессного определения дробимости горных пород необходимо формирование некоторого единого показателя, учитывающего как характеристики процесса, так и свойства горной породы. П.А.Лыхиным и В.М.Мальцевым доказано, что отношение импульса к степени дробления пород при ударе и взрыве является константой горной породы. Основываясь на этой идее, нами [5] предложен комплексный показатель – удельный импульс стандартного дробления

$$I_J^0 = \frac{I_0}{J^2} = \frac{m_{уд}\upsilon_{уд}}{SJ^2},$$

где J – степень дробления горной породы; $m_{уд}$ – масса дробящего тела; $\upsilon_{уд}$ – скорость удара; S – площадь приложения ударной нагрузки.

Величину удельного импульса дробления можно рассматривать как комплексную характеристику сопротивляемости горных пород разрушению ударом и взрывом. На основе общефизических закономерностей разрушения пород взрывом установлена зависимость пробивного расстояния ЛНС W_0 и требуемого для достижения заданной степени дробления J удельного расхода ВВ q от величины данного показателя:

$$W_0 = \frac{1}{J}\sqrt{\frac{\alpha M D k_y}{m I_J^0}}\ ;\quad q = \frac{I_J^0 J^2}{\alpha D k_y L_э},$$

где M – масса заряда ВВ; D – скорость детонации; k_y – коэффициент удлинения заряда; m – коэффициент сближения зарядов; $L_э$ – эффективная длина шпура или скважины; при открытой разработке $L_э$ соответствует высоте уступа, в подземной выработке – величине уходки, $L_э = \eta L$. Численный коэффициент α теоретически равен 0,816, однако в реальных условиях взрывания может изменяться от 0,6 до 1,0.

Исследование влияния ПАВ на характеристики дробления известняков СУБРа и Шарташских гранитов [5] показало их высокую эффективность (см. таблицу). Расчеты, выполненные для условий проходки выработок по известнякам, показывают, что насыщение массива раствором ПАВ позволяет снизить удельный расход ВВ с 2,45 до 1,7 кг/м^3 или увеличить среднее расстояние между шпурами с 0,52 до 0,62 м. При неизменных условиях взрывания относительную эффективность использования ПАВ можно оценить соотношениями

$$\frac{W_{0(ПАВ)}}{W_{0(исх)}} = \sqrt{\frac{I^0_{J(исх)}}{I^0_{J(ПАВ)}}}\ ;\quad \frac{q_{ПАВ}}{q_{исх}} = \frac{I^0_{J(ПАВ)}}{I^0_{J(исх)}}\ .$$

Влияние ПАВ на характеристики дробления горных пород

Показатели	Известняки		Граниты	
	Исходные	ПАВ ($MgCl_2$ – 0,1 %)	Исходные	ПАВ ($MgCl_2$ – 0,05 %)
Степень дробления	5,76	6,37	3,62	4,97
Коэффициент неоднородности дробления, кН	12,6	16,3	11,5	12,3
Вновь образованная поверхность, см^2	1188	1521	548	846
Удельная энергоемкость дробления, кДж/м^2	26,7	20,3	1,95	1,26
Удельный импульс стандартного дробления, кПа·с	4,21	2,95	10,0	5,6

Полученные оценки справедливы при полном насыщении массива растворами ПАВ. Однако во многих случаях, например при проходке выработок, прерывание работ на период нагнетания раствора явно нетехнологично. Поэтому необходима разработка других способов доставки активных растворов в разрушаемый массив. В частности, положительные результаты могут быть получены при отработке способа, предложенного ИГТМ АН УССР, где предусмотрено инъецирование в породный массив растворов ПАВ, помещенных в шпуре, за счет давления продуктов детонации при взрыве. Наши исследования показывают, что уже в ходе бурения шпуров и скважин с промывкой растворами ПАВ массив насыщается раствором на 30-70 % от полного в зависимости от характеристик пород и технологии бурения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Безматерных В.А.* Симметрия и критерий дробимости осколков / В.А.Безматерных, В.Г.Симанов // Изв. вузов. Горный журнал. 1978. № 12. С.40-45.

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

3. *Латышев О.Г.* Прогнозирование эффективности процессов бурения горных пород / О.Г.Латышев, О.О.Анохина // Изв. вузов. Горный журнал. 2002. № 4. С.69-73.

4. *Латышев О.Г.* Комплекс мероприятий по борьбе с пылью при производстве буровзрывных работ / О.Г.Латышев, М.А.Азанов // Известия Уральского горного университета. Екатеринбург, 2000. Вып.11. С.277-279.

5. *Латышев О.Г.* Пути повышения качества дробления горных пород взрывом / О.Г.Латышев, А.С.Жилин, И.С.Осипов // Известия Уральского горного университета. Екатеринбург, 2005. Вып.21. С.65-68.

6. *Мосинец В.Н.* Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород / В.Н.Мосинец, А.В.Абрамов. М.: Недра, 1982. 248 с.

7. *Осипов И.С.* К оценке трещиноватости горных пород как критерия их дробимости / И.С.Осипов, А.С.Жилин, О.Г.Латышев // Изв. вузов. Горный журнал. 2005. № 4. С.96-101.