

Т.М. Магомедов**К ОБОСНОВАНИЮ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ И ДИАМЕТРОВ ЗАРЯДОВ
ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ С ЦЕЛЮ РЕГУЛИРОВАНИЯ
ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВА**

Рассмотрено влияние диаметра цилиндрического заряда на процесс разрушения горной породы. Показано, что с увеличением диаметра заряда при постоянной массе ВВ существенно изменяется характер разрушения породы. Получены графические зависимости гранулометрического состава от диаметра зарядов. Приведена модель экстраполяции экспериментальных данных на натурные условия.

Ключевые слова: ближняя зона взрыва, детонационные параметры, гранулометрический состав.

Основное значение в процессе разрушения горных пород имеет способ передачи и трансформирования энергии разрушаемому массиву. Идея работы заключается в том, чтобы передавать энергию взрыва массиву не мгновенно, а постепенно, путем многократного воздействия продуктов взрыва на стенки скважины за счет изменения внутренней газодинамики расширения продуктов детонации в зарядной полости (скважине). Методы, направленные на реализацию данного подхода, основаны на улучшении условий передачи энергии в зоне контакта заряда с породой. Основная цель этих методов уменьшить потери энергии в ближней зоне на излишнее переизмельчение породы. Проведенный краткий обзор способов изменения конструктивных параметров зарядов показывает, что улучшение условий передачи энергии взрыва породе в ближней зоне позволяет уменьшить выход переизмельчения и повысить равномерность дробления всего разрушаемого объема породы. Наличие разных зон разрушения в массиве обуславливает необходимость выбора комплексного характеристического показателя взрыва, определяющего

качество взорванной горной массы и отражающего различия в условиях распределения энергии в ближней и дальней зонах. В практике взрывного дела наиболее распространенный критерий разрушающей способности взрыва получил удельный расход ВВ (q).

$$q = \frac{Q}{V_p}, \text{ кг/м}^3 \quad (1)$$

где Q – вес заряда в скважине, кг; V_p – объем разрушенной породы, м.

Этот показатель при расчете параметров буровзрывных работ обычно обосновывается данными экспериментальных исследований и производственного опыта и косвенно отражает свойства взрываемых пород, как, например, в классификации Союзвзвипрома [7]. Однако удельный расход ВВ не характеризует условий передачи энергии взрыва в ближней зоне, его использование не дает возможности объяснить изменение качества дробления при изменении диаметра заряда и его формы, условий контакта заряда с породой и т.д.

Проведенный обширный обзор исследований предыдущих лет показал, что такой параметр, как поверхность контакта заряда с породой в зарядной

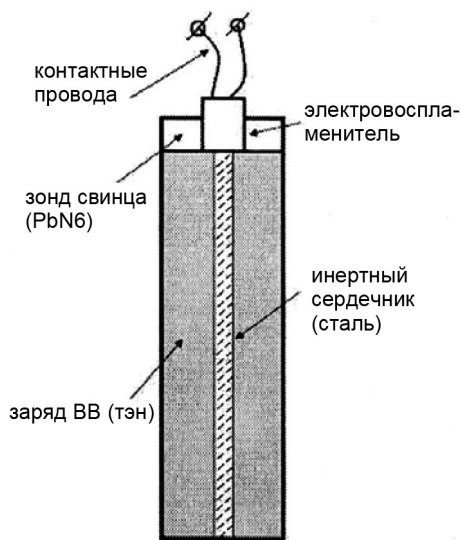


Рис. 1. Схема конструкции заряда

камере, точнее величина заряда приходящаяся на единицу поверхности контакта, именуемый в дальнейшем удельный поверхностный заряд (γ) является более подходящим критерием для оценки разрушающей способности взрыва:

$$\gamma = \frac{Q}{S_6}, \text{ кг/м}^2 \quad (2)$$

где S_6 – боковая поверхность соприкосновения заряда с зарядной полостью, м².

Поверхностью контакта заряда с породой в торцевой части (на забое зарядной полости) можно пренебречь ввиду незначительных объемов разрушения.

Реализация данного подхода возможна с применением удлиненных цилиндрических зарядов, по оси которых расположен сердечник из инертного материала (например, сталь).

Для проведения эксперимента было подготовлено для каждой серии испытаний по пять гранитных блоков (17 см×17 см×17 см). В каждом блоке пробурены шпуры глубиной $h = 5$ см. Диаметр каждого шпура соответствовал рассчитанному диаметру заряда. Диаметры зарядов следующие: $d = 4$ мм, 4,5 мм, 4,8 мм, 5,5 мм, 6 мм. Основным условием при выборе диаметров зарядов (шпуров) и подготовке зарядов к эксперименту было одинаковое значение массы Q и плотности ρ навески ВВ (тэн) для каждого блока. Таким образом, при $h = \text{const}$, $Q = \text{const}$, $\rho = \text{const}$ и рассчитанному $d_{\text{сердечника}}$, объем, занимаемый взрывчатым веществом в шпуре каждого блока оставался одинаковым.

Принимая во внимание данные условия, мы имели возможность изменять значение боковой поверхности контакта заряда с разрушаемой стен-

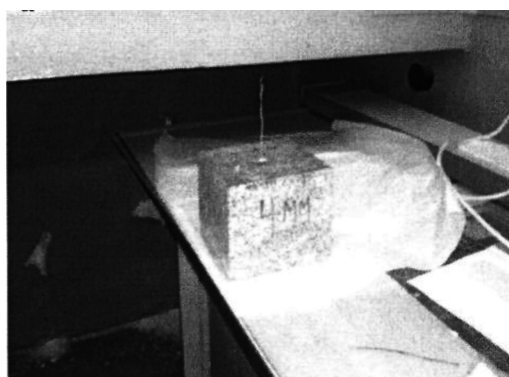


Рис. 2. Проведение эксперимента по определению характера разрушения гранита в зависимости от удельного поверхностного заряда γ : а) гранитный блок с подготовленным зарядом, б) результат взрывного разрушения

Данные по выходу фракций для пяти гранитных блоков

диаметр 4 мм		диаметр 4,5 мм		диаметр 4,8 мм		диаметр 5,5 мм		диаметр 6 мм	
фракция	навеска	фракция	навеска	фракция	навеска	фракция	навеска	фракция	навеска
1	10,65	1	19,76	1	4,78	1	5,57	1	39,82
2	27,55	2	30,87	2	7,26	2	8,89	2	75,67
3	52,06	3	68,46	3	16,7	3	13,18	3	146,54
4	25,58	4	63,06	4	9,97	4	17,21	4	122,71
5	65,62	5	136,48	5	29,83	5	34,84	5	342,52
6	49,81	6	117,22	6	24,9	6	28,01	6	313,32
7	24,2	7	59,53	7	12,97	7	16,39	7	144,89

* – для удобства представления данных в таблице фракции пронумерованы последовательно: 1 (-0,063 мм), 2 (+0,063–0,150 мм), 3 (+0,150–0,315 мм), 4 (+0,315–0,63 мм), 5 (+0,63–1,6 мм), 6 (+1,6–2,5 мм), 7 (+2,5–4,5 мм).

кой шпура (фактор дисперсности порошкового тэна не учитывался):

$$S_0 = \pi dh, \text{ м}^2 \quad (3)$$

Регулируя боковую поверхность контакта, можно легко рассчитать удельный поверхностный заряд – γ для каждого блока. На рис. 2, а, б представлены фотографии подготов-

ленного к взрыву блока и результат взрывного разрушения.

Для определения гранулометрического состава массы разрушенного гранита применялся метод грохочения пробы на наборе сит (ситовой анализ). Крупные куски гранита исключались из анализа, т.е. для ситового анализа использовалась проба

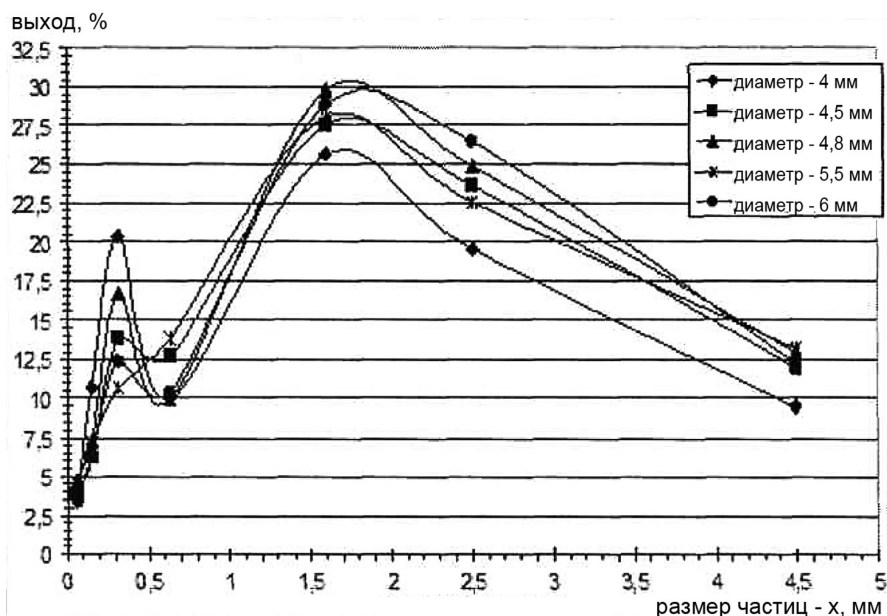


Рис. 3. Дифференциальные кривые распределения фракций гранулометрического состава

с самой крупной фракцией 4,5 мм. Такой подход объясняется тем, что при экстраполяции полученных данных гранулометрического состава на натурные условия, куски имеющие хотя бы один из линейных размеров более 4,5 мм соответствовали негабариту или нераздробленному массиву с новообразованной системой трещин.

Гранулометрический состав оценивался путем построения дифференциальной кривой распределения и ее последующим анализом. По оси абсцисс откладывался фракционный состав (размеры частиц), а по оси ординат относительный выход каждой фракции, выраженный в процентах.

Оценка массы модельного заряда справедлива лишь для волн малых амплитуд (звуковых и сейсмических волн в дальней зоне взрыва в монолитных материалах) [1]. Для волны напряжений в средней зоне взрыва на расстояниях $10 < \bar{r} < 100$ и ближней зоне взрыва $\bar{r} < 10$ приведенная оценка будет не точной, так как в этом случае следует учесть также и эффекты, связанные с диссипативными процессами, процессами дробления и разрушения пород. В этом случае минимальная масса заряда становится достаточно малой порядка 10^{-3} г. При такой массе модельного заряда возникают трудности с измерениями параметров волн напряжений и условиями возбуждения взрыва, т.е. инициирования. Обычно в таких случаях массу заряда увеличивают до 0,2–0,6 г и выше. В нашем случае масса заряда составляла 0,8 г. При этом ошибка измерения массы заряда, а также разброс эффекта взрыва по ударной волне не превышает 10–15%.

Кроме того, для моделирования волны напряжений в упругой зоне взрыва и сейсмозврывных волн проще и удобнее производить испытания в среде природы (гранит). Так как в этом случае становится справедливым т.н.

закон геометрического подобия, при котором масштаб подобия l_c становится единственным критерием, через который выражаются все остальные величины, такие как, масштаб времени $t_c = l_c$, масштаб напряжений и скоростей смещений $\sigma_c = v_c = 1$, масштаб сил и мощности $F_c = N_c = l_c^2$, масштаб работы, энергии $A_c = E_c = l_c^3$.

Экстраполяция модельных экспериментов на природу в данном случае должна проводиться по закону расширенного геометрического подобия с масштабом

$$l_c = \frac{(R_{03})_H}{(R_{03}^*)_M} = \frac{(R_{03})_H}{(R_{03})_M} \cdot \left[\frac{(\gamma Q)_H}{(\gamma Q)_M} \right]^\alpha \quad (4)$$

где R_{03}^* – эквивалентный радиус заряда, определяемый по формуле

$$R_{03}^* = (R_{03})_M \left[\frac{(\gamma Q)_M}{(\gamma Q)_H} \right]^\alpha \quad (5)$$

где $\alpha = \frac{1}{3}$ и $\alpha = \frac{1}{2}$ – соответственно

при взрыве сферического и цилиндрического зарядов.

При внимательном рассмотрении кривых гранулометрического состава можно заметить, что все кривые дают характерный экстремум в области $0,2 \text{ мм} < x < 0,4 \text{ мм}$. Два пика на каждой кривой свидетельствуют о наличии двух зон разрушения, каждую из которых следует описывать своей модой. То есть кривые на графике представляют собой двумодальное распределение фракций грансостава. Эти данные подтверждают правильность выбранного подхода. Регулированием удельного поверхностного заряда мы оказываем влияние на характер энергопередачи от заряда породе и, следовательно, распределение выделившейся энергии. Первый пик на кривых указывает на зону переизмельчения, а второй на зону третинообразования.

1. Боровиков В.А., Ваягин И.Ф. Моделирование действия взрыва при разрушении горных пород на карьере. – М.: Недра, 1990.
2. Геокчакян М.Г. и др. Экспериментальные исследования разрушающей способности взрывчатых веществ / Научные труды Ереванского государственного университета, Вып. 4, т. 75.
3. Демидюк Г.П. и др. О некоторых аспектах применения энергетического принципа в проектировании параметров взрыва // Научно-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых. – 1974. – № 5.
4. Казаков Н.Н. Взрывная отбойка руд скважинными зарядами. – М.: Недра, 1975.
5. Крысин Р.С. и др. Теоретические предпосылки к основам регулируемого дробления горных пород взрывом / Взрывное дело. – № 70/27.
6. Марченко Л.Н. и др. К вопросу о передаче энергии взрыва твердой среде расчета / Научные сообщения ИГД им. А.А. Скочинского, вып. 109. – М., 1973.
7. Технические правила ведения взрывных работ в энергетическом строительстве. – М.: Энергия, 1972.
8. Ханукаев А.Н. Энергия волн напряжений при разрушении пород взрывом. – М.: Госгортехиздат, 1962. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Магомедов Тимур Магомедович аспирант, e-mail: tbq2009@yandex.ru,
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», e-mail: rectorat@spmi.ru.

UDC 622.235.53

GO TO THE RATIONALE FOR OPTIMAL CONSTRUCTIONS AND THE DIAMETERS OF EXPLOSIVE CHARGES IN ORDER TO REGULATE GAS – DYNAMIC PARAMETERS OF BLAST

Magomedov T.M., Graduate Student, e-mail: tbq2009@yandex.ru,
National Mineral Resource University «University of Mines», e-mail: rectorat@spmi.ru.

The article considers the influence of the diameter of a cylindrical charge on the process of destruction of the rock. It is shown that with increasing diameter of the charge at a constant mass of the explosive nature of the fracture varies considerably breed. Obtained graphs on the diameter size distribution charges. There is a model of extrapolation of experimental data to natural conditions.

Key words: near zone of explosion, detonation parameters, grain size.

REFERENCES

1. Borovikov V.A., Vanyagin I.F. *Modelirovanie deistviya vzryva pri razrushenii gornykh porod na kar'ere* (Modeling blast effect in open pit mining), Moscow, Nedra, 1990.
2. Geokchakyan M.G. *Nauchnye trudy Erevanskogo gosudarstvennogo universiteta* (Transactions of the Erevan State University), issue 4, vol. 75.
3. Demidyuk G.P. *Nauchno-tehnicheskie problemy razrabotki mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh*, 1974, no 5.
4. Kazakov N.N. *Vzryvnaya otboika rud skvazhinnymi zaryadami* (Ore blasting with borehole charges), Moscow, Nedra, 1975.
5. Krysin R.S. *Vzryvnoe delo* (Взрывное дело), no 70/27.
6. Marchenko L.N. *Nauchnye soobshcheniya IGD im. A.A. Skochinskogo*, vyp. 109 (Scientific reports of the Skochinsky Institute of Mining, issue 109), Moscow, 1973.
7. *Tekhnicheskie pravila vedeniya vzryvnykh rabot v energeticheskom stroitel'stve* (Blasting regulations for construction in power industry), Moscow, Energiya, 1972.
8. Khanukaev A.N. *Energiya voln napryazhenii pri razrushenii porod vzryvom* (Stress wave energy in rock fragmentation by blasting), Moscow, Gosgortekhzdat, 1962.