

УДК 622.235.624.04

## УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГИЕЙ ВЗРЫВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКРАНИРУЮЩЕЙ «ЩЕЛИ»

Соиск. *Хугаев О. Ч.*  
ГМК «Норильский Никель»

*На основании комплекса исследований установлены особенности формирования зон разрушения, обеспечивающие повышение энергоемкости взрыва и сохранность законтурного массива.*

Опыт открытой разработки нерудных месторождений свидетельствует о том, что эффективная подготовка горной массы к выемке в значительной степени зависит от своевременной подготовки уступов на предельный контур, которая осуществляется с применением специальной технологии производства буровзрывных работ (БВР) в приконтурной зоне массива горных пород. При этом для обеспечения сохранности законтурного массива производят экранирование («преграду») по линии предельного контура, а на параметры взрывов накладываются определенные ограничения [1].

Степень разрушения пород предконтурной зоны до границы экранирующей «щели» зависит от коэффициента полезного действия ( $N_{\text{вз}}$ ) заряда взрывчатого вещества (ВВ) и его кинематических характеристик – скорости нагружения, интервала замедления взрывания зарядов в рядах «панелях» уступа, направления детонации, наличия плоскостей обнажения (их размеры и форма) и др.

Повышение  $N_{\text{вз}}$ , как наиболее действенное средство повышения степени рыхления, теснейшим образом связано с изменением параметров волн напряжений: максимального напряжения на фронте волны ( $\sigma_{\text{max}}$ , МПа), времени «пробега» положительной фазы ( $t$ , мс), удельной энергии волны ( $\gamma$ , кДж/м<sup>2</sup>), массовой скорости смещения частиц среды ( $U$ , м/с) на фронте волны и деформации – амплитуды смещения ( $A_{\text{см}}$ , мм). Определяющие – параметры  $\sigma_{\text{max}}$  и  $t$ , остальные являются функцией от них.

Весь процесс управления энергией взрыва складывается из первичного и вторичного полей напряжений. Первичное поле формируется под действием прямых волн сжатия, исходящих от очага взрыва заряда к открытой поверхности. Вторичное поле напряжений – отражение от свободной поверхности волны сжатия и ее трансформация в волну растяжения. Эти поля раскрывают микротрещины в предконтурном массиве и формируют новые, а продукты детонации взрыва довершают окончательный процесс разрушения.

Управление процессом детонации ВВ с наличием «экрана» достигается изменением скорости детонации используемого ВВ, различными конструкциями рассредоточения заряда, многоточечным инициированием и направлением детонации заряда. Энергия, воспринимаемая «экраном», уменьшается практически на порядок при изменении направления детонации в массиве от очага взрыва до забоя «экрана». Наличие забойки в технологических скважинах и «щели» сдерживают от вылета из них газов, что позволяет сохранить давление продуктов детонации в зарядной полости до «прорастания» трещин к свободной поверхности, увеличить продолжительность воздействия взрыва в 6-7 раз, снизить на четверть расход ВВ, повысить  $N_{\text{вз}}$ , добиться улучшения качества дробления [2], а, главное, обеспечить безопасность и сохранность уступов.

Управление вторичным полем напряжений основано на использовании эффекта отражения волн напряжений от свободных поверхностей (образованной породной «подушкой», бермой и «щелью») во взрываемый объем «панели» по законам геометрической акустики, которые во взаимодействии (суммировании) с продуктами детонации образуют трещины отрыва и формируют зоны разрушения (квазистатическое разрушение). Весь процесс квазистатического разрушения показан на рис. 1, 2.

Анализ рис. 1а (первичное предразрушение) показывает, что при взрыве первыми разрушаются породы на расстоянии  $R_{\text{з.сж}} = (4 - 5) R_o$  (зона сжатия), далее через 4 – 5 м образуется зона дробления  $R_{\text{др}} = (6-10) R_o$ , через 2 м соответственно зоны трещинообразования ( $R_{\text{тр}} > 10 R_o$ ) и квазистатики ( $R_{\text{кв}}$ ), ширина

которой зависит от линии наименьшего сопротивления ( $W$ ) (в нашем примере она равна 1,8 – 2,0 м).

Вторичное разрушение (рис. 1б) включает разрушение зоны квазистатики и трещинообразования, воздействием отраженных волн от экранирующей «щели» совместно с продуктами детонации, исходящих от очага взрыва.

Радиус воронки разрушения при  $W = 3,5$  м составляет 3,5 – 4,0 м или  $R_{з.р} = (20 - 25) R_0$ . Поле ее зоны разрушения – цилиндрическое. Общее время формирования зон предразрушения и разрушения составляет в пределах 40 – 45 мс.

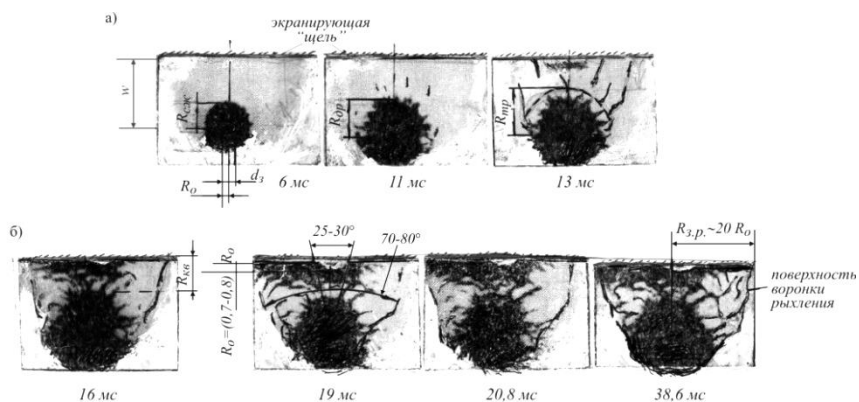


Рис. 1. Характер формирования зон разрушения от взрыва единичного заряда на расстоянии  $W = 3,5$  м от поверхности обнажения («щели»):  $a$  – первичное и  $б$  – вторичное – окончательное разрушение.

Взаимодействие двух встречных волн от двух сближенных зарядов с наличием контурной «щели» представлено на рис. 2.

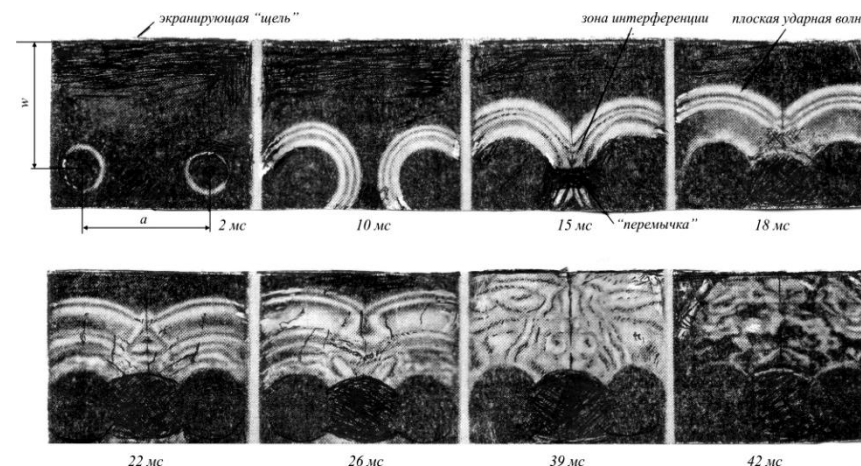


Рис. 2. Поле изохром взаимодействия волн взрыва от двух сближенных зарядов с наличием «экранирующей щели» на расстоянии  $a = W$ .

Время интерференции (суперпозиции) осуществляется через  $t_1 = 15$  мс после взрыва при  $a = w$ . До момента встречи распространение волн от каждого заряда проходит со скоростью  $V_n = 2440$  м/с. В период встречи передних фронтов волн напряжений происходит смыкание полостей (разрушение «перемычек») по оси симметрии между скважинами (шпурами) на расстоянии  $a/2$ . Образованная суммарная плоская ударная волна перемещается к экранирующей «щели», образуя трещины разрыва в зоне предразрушения. Время предразрушения (время «пробега») ее  $t_2 = 39$  мс. Трансформированная (отраженная) волна сжатия от «щели» в волну растяжения направляется к очагу взрыва, где встречает волну детонации. Происходит их наложение, напряжение в которой значительно превышает прочностные характеристики пород ( $\sigma_{р.л}$ , МПа), производя окончательное разрушение породной «панели» [3].

Сопоставление рис. 1 и 2 показывает, что интенсивность и время разрушения в них почти одинаково, несмотря на то, что удельный расход ВВ при взрыве двух зарядов увеличивается вдвое. При наличии двух зарядов происходит локализация взрывных воздействий каждого заряда и характер разрушения оказывается аналогичным единичному заряду [4].

Наличие экранирующей «щели» (рис. 2) не только повышает используемую часть энергии для разрушения предконтурного массива, но и оставляет в сохранности законтурный массив нерабочего уступа.

Использование «щелей» как с «тыльной», так и боковой стороны взрываемой «панели» (наличие 4-х обнаженных плоскостей) увеличивает долю отраженной энергии к центру очага взрыва, затрачиваемую на рыхление с одновременным уменьшением затрат на другие формы работ и ее потери. Величина дополнительной потенциальной энергии ( $\Delta\varepsilon$ , кгс·м) от взрыва предыдущего ряда последующему составляет в пределах 10-12 %.

Удельная энергоемкость служит мерой сопротивляемости пород разрушению ( $q^p = 5100 - 5200$  кДж/м<sup>3</sup>) с учетом их степени нарушенности (трещиноватости) ( $A_{mp}$  – коэффициент нарушенности массива между первым и вторым рядами скважин составляет 0,3 – 0,5, а в зоне 3-го и последующих рядов – 0,45 – 0,68) и анизотропности ( $K_{аз}$  – коэффициент анизотропности равен 1,19 – 1,29) в конкретных участках технологического блока [5]. Коэффициент полезного действия (КПД) взрыва в карбонатных породах при удельной энергии ВВ ( $\varepsilon = 4,2$  МДж/кг) при обычном способе отбойки составляет  $N_{эз} - 6 - 7$  [6], а с наличием экранирующей «щели» возрастает вдвое и равен более 12 %.

Расчетные значения давления и остаточной энергии продуктов взрыва для карбонатных пород различной акустической жесткости проведены в таблице.

С уменьшением скорости детонации снижается выделение энергии на фронте детонационной волны, падает удельная теплота взрывчатого превращения ВВ и, следовательно, энергия взрыва на формирование плоской волны. Использование экранирующей «щели», имеющей акустическую жесткость ( $\rho_2 \cdot V_{n2}$ , кг/м<sup>2</sup>·с) в 2-4 раза меньше, чем в основном массиве ( $\rho_1 \cdot V_{n1}$ ), снижает энергию взрыва в 5 – 7 раз, а скорость смещения частиц пород до 3-х [7].

Следовательно, эффективные параметры сетки взрывания скважин определяются дифференциально с учетом как энергоемкости разрушения, так и степени нарушенности массива.

Таким образом, затраты энергии взрыва ВВ на разрушение массива горных пород при круглогодичной отработки карбонатных карьеров с наличием экранирующей «щели» возрастают в 2 раза, а, следовательно, и КПД взрыва.

**Значения давления и остаточной энергии детонации взрыва в карбонатных породах**

Наименование пород	Плотность пород, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Скорость продольной волны в массиве, $V_n$ , м/с	Давление в полости ( $R_0$ ), $P_{os}$ , кгс/см <sup>2</sup>	Энергия продуктов взрыва, $\varepsilon_{пв}$ , кгс·м	Потенциальная энергия взрыва, $\varepsilon_n$ , кгс·м	Показатели продуктов энергии взрыва, $\varepsilon_{пв}/\varepsilon_n$ , %
Известняк	2,65	4200	5250	226,5	5,9-6,0	37,9
Доломит	2,75	5200	5950	225,3		37,9

ЛИТЕРАТУРА

1. Антоненко Л.К., Зотеев В.Г. Специальная технология погашения скальных откосов глубоких карьеров // Горн.журн. 1983. №5. С. 18 – 19.
2. Бахарев А.Г., Булатов В.И., Зобнин В.И., Леонтьев В.П. Деформирование бортов и уступов карьеров при массовых взрывах // Ф.-Т.П.Р.П.И. 1983. №6. С. 113 – 115.
3. Боровиков В.А., Ванягин И.Ф., Мальшев Л.К., Цукерман Я.Н. Влияние расстояния между зарядами на эффект взаимодействия встречных полей напряжений // Изв. Вузov Горн. журн. 1984. №5. С. 93 – 99.
4. Машуков В.И. Действие взрыва на окружающую среду и способы управления им. М.: Недра. 1976. 248 с.
5. Тангиев И.А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. М.: Недра, 1986. 231 с.
6. Ракищев Б.Р. Расчет затрат энергии ВВ на разрушение массива горных пород и перемещение раздробленной горной массы // Изв. Вузov Горн.журн. 1979. №1. С. 22 – 27.
7. Ржевский В.В., Ямщиков В.С. Акустические методы исследования и контроль горных пород в массиве. М.: Недра. 1973. 223 с.

