

УДК 622.235.6

Неугомонов С.С.

О МЕТОДИКЕ РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ ОТБОЙКЕ СИЛЬНО ТРЕЩИНОВАТЫХ РУД

Анализ практики взрывных работ показывает, что при разрушении пород, рассеченных густой сетью крупных макротрещин и полостей, основная часть массива, за исключением части примыкающей к заряду и расположенной до первой от заряда разделяющей трещины, распадается на естественные отдельности. При этом влияние ширины трещин и их количества на параметры волн напряжений непропорционально: при увеличении ширины трещины в 10 раз напряжение снижается в сотни раз [1], что исключает возможность теоретически строгого обоснованного расчета процесса разрушения таких сред, равно как и разработку инженерных методов управления энергией взрыва с учетом параметров волн.

Для определения параметров взрывного разрушения сильно нарушенных сред, на наш взгляд, применима методика расчета, основанная на реализации критической скорости смещения пород. Состояние массива может характеризоваться его акустическими свойствами. А основными критериями динамической прочности пород в массиве при взрывах являются критические скорости и напряжения сжатия и растяжения пород. Обрушаемый массив рассматривается как горная конструкция из ослабленного сильно трещиноватого материала, подвергающегося действию сейсмических нагрузок.

Разработка методики и апробация её применимости проведены в условиях подземного рудника ОАО «Гайский ГОК» с учётом основных положений работ [3, 4].

Действующие напряжения на фронте волны связаны со скоростями смещения и распространения взрывного возмущения могут быть выражены в виде:

$$\sigma_{сж(р)} = \gamma \cdot C_p \cdot V_{сж(р)}, \quad (1)$$

где $\sigma_{сж}$, σ_p – соответственно сжимающие и растягивающие напряжения, Па; γ – плотность породы, т/м³; C_p – скорость продольных волн в породе, м/с (величина γC_p выражает акустическую жесткость среды, т/м²с); $V_{сж}$, V_p – соответственно скорости смещения массива при сжатии и растяжении, м/с.

Разрушение среды происходит, когда критическая скорость смещения пород при взрыве бу-

дет превышать допустимый предел. Причем величина критической скорости зависит от скорости нарастания нагрузки [3]. Разрушающие критические скорости и напряжения при динамическом нагружении, как правило, увеличиваются с уменьшением времени действия скорости нагрузки. Относительные отличия динамического и статического пределов прочности (включая критические скорости) характеризуются коэффициентом динамичности K_d , м/с:

– для сжимающих напряжений:

$$[V_{сж}] = \frac{1000[\sigma_{сж}]}{\gamma \cdot C_p} K_d; \quad (2)$$

– для растягивающих напряжений

$$[V_p] = \frac{1000[\sigma_p]}{\gamma \cdot C_p} 2K_d, \quad (3)$$

где $[\sigma_{сж}]$, $[\sigma_p]$ – статические пределы прочности пород на сжатие и растяжение, МПа; γ – плотность породы, т/м³; C_p – скорость продольной волны в породе, м/с; K_d – коэффициент динамичности.

Отмеченные при малых скоростях нарастания нагрузки [4] соотношения критических сжимающих и растягивающих нагрузок $[\sigma(V)_{сж}]/[\sigma(V)_p] = 6-13$, в случае взрывных нагрузок в естественном массиве соотношение $[\sigma(V)_{сж}]/[\sigma(V)_p]$ возрастает до 16–28, что является свидетельством неодинаковости коэффициентов динамичности для сжимающих и растягивающих критических напряжений и применительно к растягивающим и сжимающим нагрузкам для горных пород значения коэффициентов динамичности могут быть различны.

При динамической взрывной нагрузке критические пределы сжатия увеличивают в 1,5–2 раза по сравнению с данными медленного нагружения, в то время как для растягивающих нагрузок в трещиноватом массиве критические скорости колебаний близки к данным, полученным при статических испытаниях. Полученная испытаниями на ударном копре зависимость [5] для коэффициента динамичности при растягивающих нагрузках в интервале $1 \leq [\sigma_p] \leq 36$ МПа пород Гайского рудника в приближении может быть дана как

$$K_o = 8,3 \left(1 - 0,234 [\sigma_p]^{0,25} \right). \quad (4)$$

Поскольку разрушаемый массив находится в состоянии повышенной нарушенности и разделён трещинами на отдельности разного размера, устойчивость разрушаемой среды будет зависеть от степени трещиноватости, влияние которой можно характеризовать изменением акустических свойств, в частности скорость продольной волны в зависимости от размера структурных отдельностей будет изменяться согласно

$$C_p = C_{p0} \left(1 - \frac{b}{d_{om0}} \right), \quad (5)$$

где C_{p0} – скорость продольной волны в монолитном образце, м/с (для руд Гайского месторождения $C_{p0}=6000$ м/с); b – коэффициент, зависящий от среднего диаметра отдельности в массиве (табл. 1); d_{om0} – средний диаметр отдельности в массиве, м.

В непосредственной близости от заряда ВВ при отсутствии свободных поверхностей разрушение массива происходит за счёт возникновения сжимающих напряжений. После отражения от поверхности обнажения волна сжатия переходит в волну растяжения и разрушение происходит в результате действия растягивающих напряжений, которые для горных пород значительно меньше, чем напряжения сжатия.

Расстояния, на которых будут реализовываться критические скорости смещения массива от сжимающих и растягивающих напряжений, будут различны. Причём разрушение массива в сторону обнаженной поверхности складывается из зон действия сжимающих и растягивающих напряжений. Величина предельных напряжений сжатия и растяжения пропорциональна скоростям смещений массива (3), (4) и согласно энергетическому закону подобия [3] определяется величиной приведённого расстояния, которое представляет отношение расстояния (r , м) до ис-

следуемой точки к массе ($Q_{соср}$, кг) сосредоточенного заряда (аммонитного или тротилового эквивалента), при котором проявляются заданные уровни предельных скоростей (напряжений) сжатия или растяжения.

$$R = \frac{r}{\sqrt[3]{Q_{соср}}}. \quad (6)$$

Величина приведённого расстояния может характеризовать энергонасыщенность массива в заданной точке (удельный расход ВВ). Чем меньше величина R , тем больше энергонасыщенность и связанные с ней напряжения и скорости смещения.

В реальных условиях, когда при массовой отбойке руд в подземных условиях применяются скважины большой длины, заряд не является точечным, а имеет линейные размеры больше, чем расстояния между смежными зарядами и величины ЛНС в сторону свободной поверхности. При этом линии заряда оказываются различно ориентированными относительно лучей наблюдения. Чтобы оценить приведённые расстояния в заданных точках, удлинённый заряд следует привести к эквивалентному точечному. А затем с учётом взаимодействия соседних зарядов в центре междускважинных расстояний, где реализуются критические скорости сжатия, могут быть определены предельные расстояния между зарядами.

Величина ЛНС – удаление зарядов от свободной поверхности, определяется из условия слияния зон разрушения динамическими сжимающими нагрузками и зон разрушения растягивающими и напряжениями, которые направлены от свободной поверхности в сторону массива.

В частности, для удлиненных зарядов, параллельных друг другу и плоскости обнажения, в [4] приведены соотношения между расстояниями и возникающими прочностными $[V_{сж}]$ $[V_p]$ и сейсмическими (K_v) характеристиками массива. Так, в первом приближении, считая размещенные заряды условно параллельными, расстояние между скважинами будет определяться как

Таблица 1

Физико-механические и прочностные характеристики массива руды в зависимости от размеров структурного блока

Средний диаметр отдельности в массиве d_{om0} , м	1,5–1	1–0,5	Менее 0,5
Коэффициент b	0,45	0,39	0,21
Скорость продольной волны в массиве с учётом нарушенности C_p , м/с	3290	2682	1806
Коэффициент пропорциональности K_v , м/с	5,6	5,2	4,6

$$a = 60,7d \sqrt{\gamma_{BB}} \left(\frac{2K_v}{[V_{сж}]} \right)^{1,5/\nu}. \quad (7)$$

Когда разрушение массива происходит в условиях слияния зон динамических сжимающих нагрузок и зон растягивающих напряжений (в сторону свободной поверхности), расстояние на котором будут реализованы, критические скорости сжатия и растяжения мо-

Таблица 2

гут быть выражены:

$$W = 0,5 \left[\left(\frac{K_v}{[V_p]} \right)^{1/v} \sqrt[3]{Q} + 25d \sqrt{\gamma_{BB}} \left(\frac{K_v}{[V_{сж}]} \right)^{1,5/v} \right], \quad (8)$$

где γ_{BB} – плотность заряжения ВВ, т/м³; d – диаметр заряда, м; Q – масса заряда ВВ, кг; v – показатель степени в зонах разрушения, изменяется в пределах от 2,15 до 2,4 (в расчётах может быть принят 2,25); K_v – сейсмический коэффициент пропорциональности, м/с, определяется упругими характеристиками взрывающей среды [4]

$$K_v = \sqrt[3]{\frac{C_p}{9\gamma} \left(\frac{1+\mu}{1-\mu} \right)^2}, \quad (9)$$

где μ – коэффициент Пуассона (для руд Гайского месторождения $\mu=0,15$).

Для горнотехнических условий Гайского медно-колчеданного месторождения с учётом параметров структурной нарушенности массива руд, его физико-механических свойств (см. табл. 1) с использованием положений приведённой методики были определены параметры сетки расположения скважинных зарядов.

По результатам расчёта было рекомендовано сгустить сетку скважин. В результате первоочередным шагом было сокращено расстояние между скважинами с 2,5 до 2,4 м (по технологическим причинам величина линии наименьшего сопротивления осталась прежней 3 м). Оценка

Выход негабарита при отбойке руды по принятым на руднике и рекомендуемым параметрам БВР

Выход негабарита из камер II и III очередей, %	Средние значения
При принятых на руднике параметрах БВР	4,9; 5,35; 4,78; 4,95
При рекомендуемых параметрах БВР	2,51; 3,32; 5,66; 3,66; 5,91; 3,54; 3,47

качества отбойки по рекомендованным параметрам БВР производилась путём определения выхода негабарита в камерах II и III очереди. Результаты представлены в табл. 2.

Определённый t-критерий Стьюдента [6] для статистического сравнения полученных средних значений двух выборок (5 и 4,01%) при заданной надёжности 90% $t_0=1,5 \leq 1,83$ показывает, что отклонения средних значений выхода негабарита в анализируемых камерах могли возникнуть в рамках нормального рассеяния.

Таким образом, отбойка руды с рекомендованными параметрами БВР на данном этапе исследований не позволяет сделать достаточно чёткий вывод о повышении качества дробления вследствие ограниченности количества опытных взрывов. Однако даёт основу сделать заключение о возможности использования и применимости разработанной методики расчёта параметров БВР при отбойке нарушенных, сильно трещиноватых руд, поскольку ухудшение качества взрывных работ не подтверждено.

Библиографический список

1. Мосинец В.Н., Абрамов А.В. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород. М.: Недра, 1982.
2. Садовой И.П. и др. Результаты промышленных опытов по установлению влияния трещиноватости массива на параметры взрыва // Взрывное дело: Сборник. М., 1967. № 62/19.
3. Оксанич И.Ф., Миронов П.С. Закономерности дробления горных пород взрывом и прогнозирование гранулометрического состава. М.: Недра, 1982.
4. Браницкий М.М. и др. Определение параметров сетки скважин и разработка рациональной технологии карьерных взрывов на основе сейсмометрических наблюдений // Буровзрывные работы в тресте «Южуралспецстрой». Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 1972. С. 25–35.
5. Совершенствование технологии буровзрывных работ с целью повышения качества дробления руды и производительности погрузочно-доставочного оборудования на глубоких горизонтах Гайского подземного рудника: Отчёт о НИР / МГМИ; Руководитель работы Н.А. Кокарев. № ГР 01830021013; Инв. № 02800044738. Магнитогорск, 1987.
6. Шиллинг Г. Статистическая физика в примерах. М.: Мир, 1976.