

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТУПНОЙ ОТБОЙКИ ЗА СЧЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ЗАКРЫТИЯ МАКРОТРЕЩИН ВО ВЗРЫВАЕМОМ МАССИВЕ

Пропонується новий метод зруйнування гірничого масиву за допомогою ВР, який підвищує ефективність гірничих робіт за рахунок попереднього закриття макротріщин у масиві, що підривається.

С углублением крупных железорудных карьеров возрастает удельный вес трудновзрываемых крупноблочных пород. В значительной мере это связано с тем, что в таких породах существенным препятствием распространения волн напряжений являются макротрещины, разделяющие массив на отдельные. Частичная локализация энергии волн напряжений вблизи заряда и более интенсивное по сравнению с монолитной средой поглощение энергии с расстоянием приводит к образованию зоны практически нерегулируемого дробления, в которой массив разделяется на естественные отдельные [1, с. 218-219]. Интенсивность затухания волн напряжений определяется параметрами раскрытия трещин и материалом их заполнителя [2, с. 101-102].

Раскрытие макротрещин находящегося в естественном состоянии массива составляет 0,2...5 мм [3]. Постоянные массовые взрывы в карьерах приводят к дополнительному развитию деформаций трещиноватого массива. Экспериментально доказано, что на расстоянии до ста диаметров заряда ширина раскрытия макротрещин после взрыва увеличивается в несколько раз. С учетом того, что при существующих горнотехнических условиях в глубоких железорудных карьерах взрывные блоки имеют незначительную ширину (в среднем 3 ряда скважин или около 20 м), практически весь взрываваемый массив находится в нарушенном состоянии. При этом максимальное воздействие от предыдущих взрывов испытывает часть массива, примыкающая к откосу уступа.

С этой точки зрения уменьшение влияния трещиноватости возможно определенным режимом взрывания, при котором заданный интервал замедления обеспечивает закрытие трещин за счет использования квазистатической фазы действия взрыва [4]. Под действием продуктов детонации при взрывании зарядов ВВ в массиве трещиноватых пород, вслед за волной напряжений, с меньшей скоростью распространяется длиннопериодная волна [5], при прохождении которой происходит смещение отдельных и закрытие макротрещин.

Характер деформаций массива при этом упруго-пластический. Пластические деформации происходят на скальных контактах при их сближении и истинании или при деформации заполнителя трещин. Упругие деформации имеют место непосредственно в отдельных при сжатии их между расширяющейся зарядной полостью и частью массива, еще не подверженному взрывному воздействию. В дальнейшем падение давления в зарядной полости и упругая реак-

ция плотно сомкнутых отдельностей в массиве приводит к раскрытию макротрещин.

Если принять, что размеры отдельностей в массиве намного больше расстояний между ними, то упруго-пластические деформации  $\varepsilon$  трещиноватого массива горных пород для зияющих и заполненных макротрещин соответственно можно определить из выражений [3, с.51-72]

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \left( 1 + \frac{\delta}{d_o \zeta} \right); \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \left( 1 + \frac{\delta E}{d_o E_1} \right), \quad (2)$$

где  $\sigma$  - действующее напряжение;  $E$  - модуль Юнга естественной отдельности породы;  $\delta$  - средняя ширина раскрытия трещин;  $d_o$  - средний диаметр естественной отдельности;  $E_1$  - модуль Юнга материала заполнителя;  $\zeta$  - безразмерная площадь скальных контактов (среднее значение для большинства скальных пород  $\zeta = 3 \cdot 10^{-4}$  [3]).

Выражение  $\sigma/E$  характеризует упругие деформации отдельностей пород в массиве, второе слагаемое в формулах (1) и (2) - пластические деформации между отдельностями. Исходя из того, что под действием квазистатической фазы взрыва исходных зарядов на некотором расстоянии  $r$  происходит закрытие макротрещин в области воздействия волн напряжений последующих зарядов, то достаточный для достижения такого эффекта интервал замедления  $t$  для массива горных пород с зияющими трещинами равен

$$t = \frac{k r^2}{d_z} (\delta / d_o)^{1.5} \sqrt{\frac{\rho}{E \zeta}}; \quad (3)$$

для массива горных пород с заполненными макротрещинами

$$t = \frac{k r^2}{d_z} (\delta / d_o)^{1.5} \sqrt{\frac{\rho}{E_1}}, \quad (4)$$

где  $k$  - коэффициент, учитывающий кратность взрывного воздействия на массив в зависимости от схемы взрывания;  $d_z$  - диаметр заряда ВВ, м;  $\rho$  - плотность горных пород в массиве,  $\text{кг/м}^3$ ;  $r$  - расстояние от исходной группы зарядов до границы области разрушающего действия взрыва группы последующих зарядов, м. При применении диагональных, порядных и других подобных схем короткозамедленного взрывания  $r$  равно половине расстояния между группами

зарядов. Пример порядной схемы с применением системы НОНЕЛЬ ЮНИДЕТ показан на рис. 1.

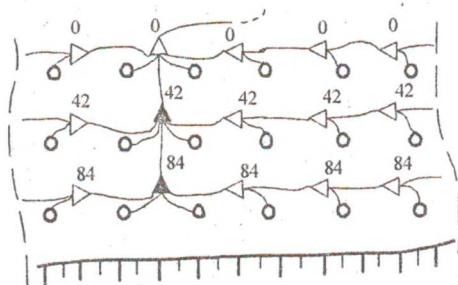


Рис.1 - Порядная схема взрывания

Для схем с предварительным оконтуриванием взрываемого массива с тыльной стороны блока (рис. 2)  $r$  - расстояние от последнего ряда скважин до бровки уступа, м.

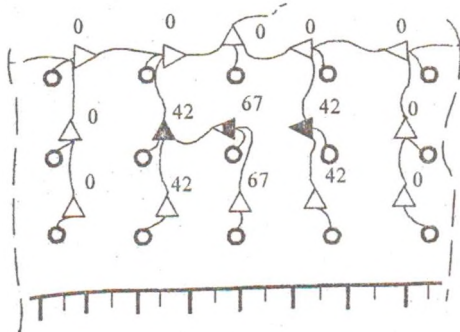


Рис.2 - Схема взрывания с предварительным оконтуриванием

Характер распространения взрывного воздействия на массив в зависимости от схем короткозамедленного взрывания учитывает коэффициент  $k$ . Если массив подвергается последовательному воздействию и расстояние между скважинами в ряду и между рядами примерно равны, коэффициент  $k$  принимаем равным 2 (для порядных, диагональных и подобных схем КЗВ). В случае применения схем с предварительным оконтуриванием блоков  $k$  принимаем равным



1, так как оконтуривающие заряды, параллельные бровке уступа, можно считать линейным зарядом [4].

Пример расчета достаточного для закрытия макротрещин в зоне действия последующей группы зарядов времени выполнен для силикатно-магнетитовых роговиков Ингулецкого месторождения при  $k=2$ ;  $r=9,0$  м;  $\delta=0,02$  м;  $d_0=0,7$  м;  $\rho=3200$  кг/м<sup>3</sup>;  $E=9,26 \cdot 10^4$  МПа. Требуемый интервал замедления составил  $40 \cdot 10^{-3}$  с. Для этих же условий, но при заполненных суглинками трещинах, рассчитанный по формуле (4) интервал  $t$  равен  $36 \cdot 10^{-3}$  с.

Структура массива оказывает определяющее влияние на величину интервала замедления при КЗВ, о чем свидетельствует его значительная зависимость от отношения  $\delta/d_0$ .

При использовании схемы, приведенной на рис. 1, взрыв группы скважинных зарядов, расположенных в линию, приводит к закрытию макротрещин, примерно параллельных взорванной группе, и практически не изменяет раскрытия трещин, перпендикулярных ей. Массив горных пород, как правило, расчленен несколькими системами трещин, для закрытия которых более рационально применять схему с предварительным оконтуриванием, приведенную на рис. 2. Расстояние  $g$  от бровки уступа до последнего ряда скважин, определяющее максимально возможную границу зоны закрытия макротрещин, не превышает 100 диаметров заряда. Соотношение ширины и длины оконтуриваемого блока (примерно 1:2) позволяет достичь одновременного закрытия трещин в зоне, равноудаленной от линий оконтуривающих скважинных зарядов.

При взрыве оконтуривающих зарядов ВВ внутри отбиваемого блока происходит закрытие макротрещин, и к определенному моменту времени  $t$  во всем блоке макротрещины будут плотно сомкнуты. Волновое воздействие от взрыва группы зарядов внутри блока, взрываемых с интервалом замедления, большим  $t$ , будет распространяться с минимальным затуханием на сомкнутых трещинах. В результате должно обеспечиваться равномерное дробление массива.

Интервал замедления между группами зарядов внутри блока не должен превышать 25 мс, что обеспечивает дополнительное закрытие макротрещин внутри блока, а также минимальное раскрытие макротрещин вблизи откоса уступа.

Необходимость использования для решения поставленной задачи закрытия макротрещин при взрывной уступной отбойке крупноблочных трещиноватых массивов в условиях глубоких карьеров системы средств инициирования НОНЕЛЬ ЮНИДЕТ обусловлена тем, что надежная реализация представляемого режима взрывания с помощью традиционных средств взрывания ДШ-КЗДШ с учетом разброса времени срабатывания последних практически неосуществима.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суханов А.Ф., Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом.-М.: Недра, 1983.-344с.
2. Барон Л.И., Личели Г.П. Трещиноватость горных пород при взрывной отбойке.-М.: Недра, 1966.-136с.
3. Рупнейт К.В. Деформируемость массивов трещиноватых горных пород.-М.: Недра, 1975.-223с.
4. Черниговский А.А. Применение направленного взрыва в горном деле и строительстве.-М.: Недра, 1976.-319с.
5. Вовк А.А., Смирнов А.Г., Благодаренко Ю.А. О двух составляющих поля напряжений вблизи взрыва зарядов ВВ //Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.-1976.-№6.-С.28-31.