

## ФОРМИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ В РАЗРУШАЕМОМ МАССИВЕ

Как показывает анализ теории взрывного разрушения кристаллических массивов и практики БВР, значительно снизить отрицательное воздействие от ранее произведенных взрывов на разрабатываемый горный массив возможно при целенаправленном использовании для взрывной отбойки горной массы эффектов развития динамической зоны разрушения, создаваемой силовыми полями взаимодействующих зарядов ВВ, расположенных на границе разрушаемого уступа горных пород. В связи с этим, в исследования, направление которых непосредственно было нацелено на решение данной проблемы, закладывалась идея возможности целевого использования динамических эффектов, проявляющихся при взаимодействии скважинных зарядов, для решения которой задачи исследований формулировались сообразно с нею, а именно: основные скважинные заряды дробления инициируются после взрывания зарядов ВВ, образующих защитную динамическую зону, через интервал времени, сопоставимый с короткозамедленным взрыванием и в соответствии с конкретными условиями ведения взрывных работ.

Исследуем механизм образования предварительной защитной динамической зоны разрушения. Для этого рассмотрим процесс взаимодействия смежных скважинных зарядов ВВ, расположенных на линии образования динамической зоны разрушения, и непосредственно поведение горного массива, заключенного между ними.

Прохождение по породе волны напряжений после взрыва первого заряда вызывает вынужденные продольные колебания горного массива. Скорость распространения этих колебаний совпадает со скоростью волн напряжений. Этот факт имеет важное значение для определения полной картины процесса разрушения при взаимодействии смежных зарядов ВВ. Так, например, наличие вынужденных продольных колебаний горного массива во многом объясняет интенсивный процесс трещинообразования по линии расположения контурных скважин зарядов ВВ при их последовательной работе.

От взрыва первого заряда ВВ в горном массиве его энергия трансформируется в волну напряжений, которая, в свою очередь, вызывает вынужденные продольные колебания массива, заключенного между двумя скважинами. Зародыши радиальных трещин в большом количестве возникают в направлении распространения вынужденных колебаний под давлением взрывных газов. При детонации смежного заряда ВВ волна напряжений распространяется в массиве, имеющем ориентированную напряженность с радиальными и тангенциальными нарушениями. Горный массив, заключенный между взаимодействующими зарядами, концентрирует напряжения, значения которых намного превышают напряжения во вне. По линии, соединяющей заряды ВВ, горный массив значительно ослабляется, а поскольку он находится в волновом поле напряжений, то процесс развития трещин интенсивно распространяется в направлении взорвавшегося второго заряда ВВ. Взрыв следующего заряда проявляется как начальный импульс дальнейшего наиболее благоприятного направления роста трещин. В развитии направленной системы разрушений, играют важную роль вынужденные продольные колебания в массиве, максимальная интенсивность которых проявляется на границе динамической защитной зоны.

Продольные вынужденные колебания возникают в массиве пород под действием внешней импульсной силы. При взрыве зарядов ВВ, образующих динамическую зону, последняя реализуется как предельное положение поверхности разрушения.

В каждой точке поверхности разрушения выполняется уравнение сохранения массы  $\rho_0(V_n - v_{n0}) = \rho(V_n - v_n)$ , уравнение сохранения импульса

$$\sigma_{n0} - \sigma_n = \rho_0(v_{n0} - V_n)(v_{n0} - v_n), \quad \tau_{i0} - \tau_i = \rho_0(v_{n0} - V_n)(v_{i0} - v_i)$$

( $i = 1, 2$ ), а поверхность разрушения определяется как

$$\theta = \frac{1}{2}(V_n - v_{n0})^2 + v_0 - \frac{\sigma_{n0}}{\rho} - \frac{1}{2}(V_n - v_n)^2 - v + \frac{\sigma_n}{\rho}.$$

Здесь индекс 0 относится к неразрушенному состоянию;  $n$  – внешняя нормаль к поверхности;  $\sigma_n$ ,  $\tau_i$  – компоненты вектора напряжения;  $v_n$  – скорость распространения поверхности разрушения;  $v$  – упругий потенциал единицы массы;  $\rho$ ,  $V$  – плотность и скорость материальных частиц.

В заключение рассмотрим вопрос о расположении системы скважинных зарядов, образующих динамическую защитную зону, чтобы после их инициирования между ними не оставалось неразрушенных участков массива.

Пусть  $h$  – расстояние от свободной поверхности;  $l$  – расстояние между скважинными зарядами. Согласно [3] потенциал поля скоростей определяется как

$$W = \frac{m}{2\pi} \ln \frac{\sin \frac{\pi}{l}(z + h_i)}{\sin \frac{\pi}{l}(z - h_i)}, \quad \text{где } m = \left( \frac{E_k \cdot r_0}{2\pi\rho} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (1)$$

Дважды дифференцируя выражение (1) по  $z$ , получим:

$$\frac{d^2W}{dz^2} = \left( \frac{\pi m}{2l^2} \right) \left( \frac{\sin^{-2} \pi(z - h_i)}{l} - \frac{\sin^2 \pi(z + h_i)}{l} \right).$$

Максимальная скорость сдвига на середине расстояния между зарядами равна  $C_{\max} = \left( \frac{d^2 W}{dz^2} \right)$  при  $z = \frac{l}{2} - ih$ .

$$C_{\max} = \left( \frac{\pi m}{8l^2} \right) th \left( \frac{2\pi h_i}{l} \right). \quad (2)$$

Если одиночный скважинный заряд создает сплошную проработку «граншею», то величина  $C_{\max}$  вычисляется по формуле

$$C_{\max} = \frac{2mhx}{\pi(x^2 + h^2)^2}. \quad (3)$$

Приняв  $x=h$ , получим

$$C_{\max} = \frac{2m}{\pi h^2} \quad (4)$$

Если между зарядами скорость сдвига такая же, как и скорость, согласно (3), то очевидно, что «целиков» не будет. Приравняв выражение (2) к (4), получим

$$\frac{4l}{\pi h} = \left( \frac{th2\pi h}{l} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

Решение последнего уравнения:  $h/l=1,2$ .

Полученное значение хорошо согласуется с принятыми на практике характеристиками буровзрывных работ.

Процесс взрывного разрушения горных пород определенно включает элементы разгрузочного разрушения от быстрого снятия нагрузки. Использование динамической зоны разрушений обеспечит почти одновременный переход из состояния сжатия в растяжение отделившейся части массива после взрыва в нем зарядов дробления. Этот эффект обеспечит интенсивное дробление разрушаемого массива. Эффективность данного разрушения во многом зависит от рационального выбора способов формирования скважинных зарядов ВВ с привязкой к горно-геологическим свойствам взрывааемых горных пород. Использование динамической зоны разрушений, образованной перед взрывом зарядов дробления, позволяет снизить разрушение смежного уступа горных пород, особенно в верхней его части.

Поверхность разрушения при взрыве скважинных зарядов ВВ, образующих динамическую защитную зону, в геометрическом смысле есть граница между целиком и разрушаемым горным массивом.