

ПРОЦЕСС РАЗРУШЕНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Соиск. *Хугаев О. Ч.*
ГМК «Норильский Никель»,
соиск. *Гагиев И. А.*
д-р техн. наук *Пустобриков В. Н.*
ООО «ЮгСпецПодземСтрой»

*Рассмотрена общая картина передачи энергии взрыва массиву с наличием экранирующей «щели».
Сформулированы и установлены параметры заложения ее границ.*

Проф. Г.И. Покровский указывает, что «увеличение площади, по которой происходит первоначальное взаимодействие продуктов взрыва с горной породой («контакт ВВ-порода»), приводит к повышению коэффициента передачи энергии взрыва».

При рассмотрении процесса разрушения среды сближенными скваженными зарядами нами принято, что в ее разрушении принимают участие волновые процессы и квазистатическое давление продуктов взрыва. При этом выделяются две существенно отличающиеся фазы взрывного разрушения: от действия волн напряжений (первичное) и «поршневого действия» продуктов взрыва (вторичное).

В соответствии с принципом Гюйгенса на некотором расстоянии от сближенных зарядов скважин силовые параметры выравниваются. Площадь поверхности (рис. 1) контакта «ВВ-порода», находящаяся с внешней стороны к обнаженной поверхности ($S_n, \text{м}^2$) составляет [1]:

$$\sum S_n = \frac{\pi(n_i + 2)}{2} d_{ск} \cdot l_i, \quad (1)$$

где n – число скважин;

l_i – длина комплекта скважин, м.

Коэффициент передачи взрывной волновой энергии (ζ) при расположении сближенных зарядов к плоскости обнажения

$$\zeta = \frac{K_g(n_i + 2)}{2\sqrt{n_i}}, \quad (2)$$

где K_g – коэффициент, учитывающий рассеивание волновой энергии при ее распространении и изменение направления их фронта в междускваженных промежутках и зависит от свойств ВВ, пород, расстояний между скважинами и др., равный 0,8 – 0,9.

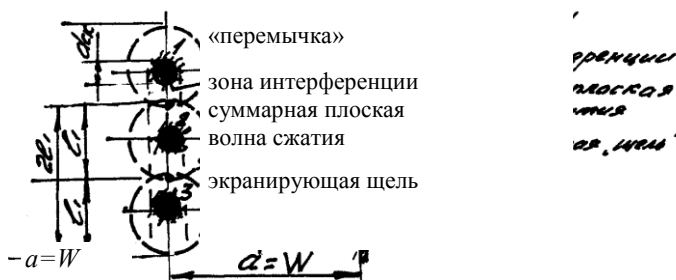


Рис. 1. Схема передачи энергии взрыва массиву пород при расположении 3-мя сближенными скважинами.

Изменение коэффициента ζ от числа скважин показано на рис. 2.

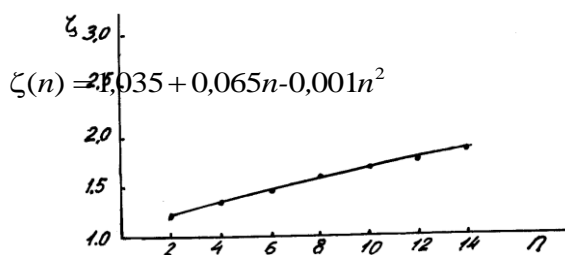


Рис. 2. Изменение коэффициента передачи взрывной энергии

в зависимости от количества сближенных скважин в комплексе.

Из графика (рис. 2) и анализа формулы (2) видно, что при волновых процессах, рассредоточенных в нескольких скважинах, сближено размещенных, ζ имеет большее значение при всех значениях $K_{\text{в}}$, чем заряд при том же количестве ВВ в одной скважине большего диаметра, причем он монотонно возрастает с увеличением количества скважин. Если расстояние между скважинами $2l_1$ превосходит $(3 - 3,5)h_{\text{оп}}$ радиусов дробления (l_1 – середина расстояний – зона интерференции, м) (рис.1), то между скважинами справа и слева разрушается «перемычка» с образованием полости, заполненная газообразными продуктами взрыва.

Основная цель волновых процессов, исходящих от сближенных зарядов, – подготовить предконтурную полость отбиваемой «панели» уступа для заключительной фазы разрушения.

Установлено, что на качество дробления влияет только часть взрывной энергии, а остальная (основная) направлена к экранирующей «щели», которая расходуется на упругое деформирование и сейсмику в законтурный массив. Наличие трех открытых поверхностей, от которых происходит отражение волн сжатия, их преобразование в волны растяжения составляют 25 – 30 %, остальная, около 60 – 70% общей энергии поглощается «щелью» и рассеивается в виде сейсмических колебаний [2]. Возвращение отраженной доли энергии напряжений осуществляется за счет создания искусственной «преграды» с отличной от среды акустической жесткости ($\rho_i V_{ni}$, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$),

повышая тем самым использование потенциальной энергии более, чем в 2 раза.

Таким образом, изменение граничных условий на внутреннем контуре разрушения позволяет существенно повысить объем предразрушения массива и разработать ряд инженерных методов управления энергией взрыва.

В целом процесс предразрушения при групповом взрывании зарядов в скважинах характеризуется тремя основными параметрами: приращение (дополнение) упругой энергии деформации от взрывания последующего ряда зарядов к конечному ($\Delta\varepsilon$, кгс·м); периодом деформации от момента взрывания первого ряда зарядов до момента полного раскрытия первичных трещин предыдущего ряда (серии), сразу же после которого должен следовать взрыв второго ряда, третьего и т.д. с тем, чтобы была исключена возможность смыкания трещин; взаимным расположением одного заряда относительно другого и наличием открытых поверхностей, ограничивающих разрушаемый объем.

Представляем вкратце схему последовательного процесса разрушения горных пород уступа («панели») взрывом с наличием экранирующей «щели». При взрыве технологических скважин формируется первичное поле напряжений, как следствие действием прямых волн сжатия в направлении от заряда к открытым поверхностям (откоса, бермы и «щели»). При отражении их от свободных поверхностей формируется вторичное поле напряжений, как следствие формирования волн растяжения (трансформация волн сжатия) от поверхностей к зарядной камеры (очагу взрыва). В процессе формирования указанных полей напряжений в преднарушенной среде происходит раскрытие микротрещин и возникновение новых. Процесс завершается воздействием давления газообразующих продуктов (квазистатическое разрушение).

Эффект взрыва основан на строгой последовательности – каждая последующая серия зарядов в ряду должна взрываться сразу же после раскрытия трещин в среде от действия предыдущей серии зарядов, т.е. время между последовательными взрывами должно быть равно времени трещинообразования («прорастания») до своего максимального значения. Оптимальное значение такого промежутка времени (t_T , мс) устанавливается на основании характеристик отбиваемых пород, знаний скорости роста трещин [3] и расстояния от заряда до открытой поверхности в направлении экранирующей «щели»

$$t_T = \frac{3,5 \cdot \rho_n}{\sqrt[3]{f^2}} \sqrt{\frac{2(1-\mu)}{(1-2\mu)}} \cdot W \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

где W – ЛНС (расстояние между рядами скважин), м;

f – коэффициент крепости пород;

μ – коэффициент Пуассона.

При $W = 3,5 - 4$ м t_T составляет в пределах 20 – 25 мс (максимальное – 50 мс). Время взрывания зарядов ВВ прямо пропорционально упругим константам пород и расстоянию до свободной поверхности и обратно пропорционально крепости пород. Следует отметить, что для

экранирования энергии волн напряжений, заряды при оформлении экрана (контура) взрываются первыми и мгновенно, чтобы обеспечить «преграду» от напряжений, исходящих от зарядов технологических скважин второй очереди. Заряды второй очереди, третьей в рядах взрывают последовательно через 25 (50), 50 (75), 75 (100) мс.

Расстояние, на которое возможно максимально эффективное экранирование (R_3 , м) продольных (V_n , м/с) волн

$$R_3 \leq \left(\frac{18 \cdot 10^6}{\rho_n \cdot V_n} \right)^4 \sqrt[5]{\sum Q}. \quad (4)$$

Для эффективного экранирования (R_3) ширина «щели» ($h_{щ,м}$) должна быть выше абсолютного смещения горных пород при взрыве ($S, м$), т.е. $S \leq h_{щ}$.

На основе экспериментов предприятиям предложены следующие формулы, определяющие эффективность отработки карьеров в гористой местности:

– ширина «щели» от двух сближенных зарядов ВВ (справа и слева)

$$h_{щ} = 25 \frac{d_0^2}{a \cdot \sqrt[4]{f^3}}, \quad (5)$$

где d_0 – диаметр заряда ВВ при оформлении «щели» как динамическим, так и статическим воздействием, м;

– смещение частиц пород на фронте движущейся волны

$$S = \frac{3,7 \cdot 10^3 \sum Q^{0,6}}{R_i^{1,25} \cdot \sqrt{\rho_n \cdot V_n}}, \quad (6)$$

где R_i – расстояние от бровки уступа до экранирующей «щели», м;

– необходимое расстояние между зарядами на формирование «щели» заданных параметров, находим после приравнивания (5) и (6)

$$a \leq \frac{d_0^2 \cdot R_i^{1,25} \cdot \sqrt{\rho_n \cdot V_n}}{\sqrt[4]{f^3} \cdot \sum Q^{0,6} \cdot 3,7 \cdot 10^3}. \quad (7)$$

Выполненные исследования и представленные расчетные формулы заложения границ расположения экранирующей «щели» (соответственно, $R_3 = 6 - 7$ м и $R_i \Rightarrow 3,5$ м), ее ширина ($h_{щ} = 3 - 5$ см) в зависимости от количества используемого ВВ ($\sum Q = 1200$ кг) и смещения частиц на фронте ударной волны ($S = 0,3 - 0,4$ м) соответствуют реальным параметрам при отбойке карбонатных пород открытым способом гористой местности при круглогодичной «работе».

Таким образом, управление энергией взрыва при формировании в разрушающей среде первичного и вторичного поля напряжений путем регулирования граничных условий на внешнем и внутреннем контуре отбиваемой «панели» с наличием экранирующей «щели» позволяют значительно эффективно использовать энергию взрыва с достижением заданной степени дробления пород, сохранить законтурный массив в ненарушенном состоянии при высоких технико-экономических показателях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев М.А. Распределение энергии взрыва при отбойке руды параллельными скважинами // Изв.вузов. Горн.журн. 1979. № 1. С.36 – 43.
2. Ракишев Б.Р. Расчет затрат энергии ВВ на разрушение массива горных пород и перемещение раздробленной горной массы// Изв.вузов. Горн.журн., № 1. 1979. С.22 – 27.
3. Хугаев О.Ч., Хугаев Ч.П., Пустобриков В.Н. Совершенствование технологии отбойки скальных пород в режиме отрицательных температур. Владикавказ: Мавр, 2011. 160 с.