

ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ МАССИВА НА ИНТЕРВАЛ ЗАМЕДЛЕНИЯ ВЗРЫВОВ

Соиск. *Хугаев Ч. П.*
ООО «ЮгСпецПодземСтрой»

Получены зависимости скорости смещения частиц пород у свободной поверхности под действием квазистатического давления продуктов детонации и интервалы замедления зарядов ВВ с учетом упругих деформаций и трещиноватости массива.

Согласно утверждениям авторов гипотезы остаточных деформаций [1], улучшение качества дробления пород при короткозамедленном взрывании основано на взаимодействии давления продуктов детонации (ПД) предыдущего взрыва с волной напряжений последующего взрыва [2].

При взрывании зарядов взрывчатого вещества (ВВ) естественная трещиноватость в породах оказывает экранирующее влияние и локализует распространение энергии волн напряжений от заряда по массиву. В результате размеры зоны регулируемого дробления становятся несколько ограниченными, а разрушение более удаленного объема массива происходит, в основном, по естественным трещинам, т.е. образуется зона нерегулируемого дробления [3]. Происходит смещение блоков в направлении от зарядной полости, сопровождающаяся закрытием макротрещин, квазистатическим давлением [4]. Затем в результате падения давления в зарядной полости, а также влияния упругой реакции, плотные сомкнутые блоки смещаются в сторону, которое сопровождается раскрытием макротрещин от зарядной полости к последующему заряду [2].

Рассмотрим влияние деформирования карбонатных пород действием квазистатического давления и определим интервал времени замедления от момента детонации первого ряда скважин, необходимой для закрытия макротрещин в области разрушения от взрыва последующего ряда скважин.

Маркшейдерская обработка данных съемки пород после взрыва показала, что наибольший размер блоков (d_e) изменяется от 0,2 до 2,5 м с наличием между рядами скважин 6 – 8 диагональных согласнопадающих с откосом ($\alpha = 60 - 90^\circ$) трещин протяженностью от нескольких сантиметров до 1 метра и выше (0,05 – 1,2 м) при средней ширине их раскрытия (δ) 0,017 – 0,025 м (табл. 1).

Таблица 1

**Количественные параметры свойств карбонатных пород
и расположения зарядов**

Свойства карбонатных пород и параметры расположения зарядов	Карьер	
	Терский известковый	Боснийский доломитовый
Модуль Юнга, E_m , МПа	43000	59000
Плотность пород, ρ , кг/м ³	2650	2750
Средний размер блока в массиве, d_e , м	0,6	0,4
Средняя величина раскрытия макротрещин, δ , м	0,025	0,017
Число трещин между скважинами, N_r	8	6
Линия наименьшего сопротивления, $r=w$, м	3,5	4,0
Средняя скорость смещения частиц пород у свободной поверхности, $V=V_r$, м/с	7,6	5,4

Интервал времени, достаточный для закрытия трещин в окрестности расположения последующего заряда в ряду (τ , мс) [2]

$$\tau = \frac{\sum_0^r \delta}{V}, \quad (1)$$

где δ – первоначальное раскрытие трещин;

\bar{V} – средняя скорость смещения блоков на участке от 0 до r , м;

r – расстояние от первого ряда до максимально удаленной границы зоны размещения, м.

Сумму $\sum_0^r \delta$ можно определить через среднюю ширину раскрытия макротрещины δ и их количества N_r на участке $0-r$ (рис. 1) как

$$\sum_0^r \delta = N_r \cdot \bar{\delta}, \quad (2)$$

где $\bar{\delta}$ – средняя ширина раскрытия макротрещин в массиве, подвергнутом деформациям от взрыва диаметром заряда (d_3 , м), определяется размером блоков (d_e) и расстоянием от бровки уступа (L , м) до последнего ряда скважин

$$\bar{\delta} = d_e \left(\frac{d_3}{L} \right) \quad (3)$$

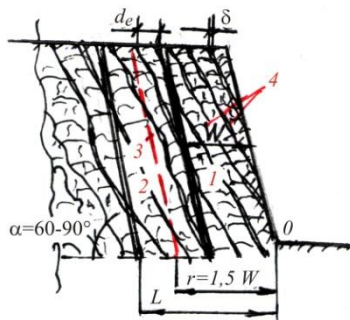


Рис. 1. Схема к расчету интервала замедления:
1 – первичный заряд ВВ; 2 – последующий заряд; 3 – граница зоны разрушения от взрыва 1-го ряда скважин; 4 – макротрещины.

Графически зависимость $\bar{\delta} = f(d_e)$ приведена на рис. 2.

Рис. 2. Зависимость средней величины раскрытия макротрещин от размера блоков в массиве при расстоянии от бровки до последнего ряда скважин:
1 – d_3 (23 – 28); 2 – d_3 (46 – 56) и 3 – d_3 (70 – 85).

16 Труды Самарского государственного университета. № 1 – 2, 2019 г.
Скорость смещений частиц пород у свободной поверхности (V_r) равна \bar{V} .

Полученная зависимость интервала замедления согласуется с широко известной и применяемой в практике короткозамедленного взрывания формулой У. Лангефорса для пород различной категории по взрываемости

$$\tau = \frac{\kappa r^2}{d_3 \cdot V_n} \left(\frac{\bar{\delta}}{d_e} \right), \quad (4)$$

где $V_n = \sqrt{\frac{E_m}{\rho} g}$ – скорость продольной волны в массиве, м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

κ – коэффициент, учитывающий расхождения энергии взрыва (для сближенных цилиндрических зарядов $\kappa = 1$) [5].

Подставляя в уравнение (4) $r = 1,5W$, формула примет вид:

$$\tau = \frac{2,25 \cdot W \cdot \kappa}{V_n \cdot d_3} \left(\frac{\bar{\delta}}{d_e} \right). \quad (5)$$

При определении времени замедления использовались следующие параметры: диаметр заряда ($d_3 = d_{ck} = 150$ мм); схема взрывания – порядная; коэффициент k принят 1, остальные параметры взяты из табл. 1. Следует отметить, что у карбонатных пород размер структурных блоков, величина раскрытия трещин и их расстояний при V_n равным более 5000 м/с примерно имеют один порядок. После подстановки их в уравнение (5) получаем $\tau = 26 \cdot 10^{-3} = 26$ мс, что соответствует порядку величины τ_3 , полученного при проведении экспериментального взрыва 2-го ряда ($r = 7,5$ м) и 55 мс – взрывания 3-го ряда ($r = 10,5$ м).

Результаты вычислений τ для карбонатных пород представлены в табл. 2 и на рис. 3.

Анализ зависимостей выбираемого интервала замедления от размера естественной блочности показывает, что сходимость результатов при короткозамедленном взрывании приемлема для отработки карьеров открытым способом. При этом следует учесть, чтобы нижним пределом интервала замедления между взрывами в рядах являлось время, необходимое на то, чтобы при разрушении взрывом предыдущего заряда горная масса отошла от массива и образовалась свободная поверхность («щель»), служащая дополнительной поверхностью обнажения для последующего заряда.

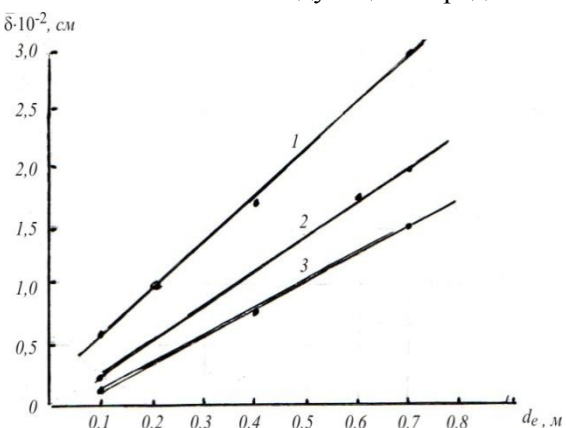


Таблица 2

Результаты вычислений интервалов замедлений при отбойке «панели» в уступе 3-рядными скважинами

Наименование пород	Скорость продольной волны в массиве, V_n^m , м/с	Линия наименьшего сопротивления от начала бровки уступа, W_i , м/с	Скорость трещин раскола, $V_{тр}$, м/с	Интервал замедления между рядами, τ_i , мс
Известняк	5200	3,5	2,16	13
		7,0		26
		10,5		55
Доломит	5800	3,5	1,83	18
		7,0		31
		10,5		65

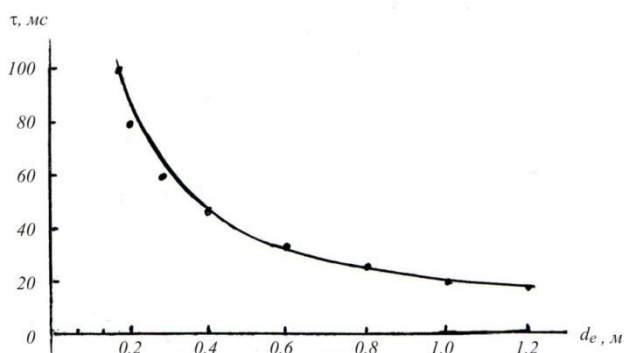


Рис. 3. Зависимость интервала замедления от размеров породных блоков.

Выполненные лабораторные и производные эксперименты позволяют сделать вывод о том, что улучшение качества дробления и повышения эффективности работы зарядов при короткозамедленном взрывании достигается за счет правильного расчета величины оптимального времени замедления между рядами скважинных зарядов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. *Баранов Е.Г.* Короткозамедленное взрывание. Фрунзе: Илим, 1971. С.146.
2. *Кутузов Б.Н., Тюлин В.Н.* Определение интервала короткозамедленного взрывания зарядов в трещиноватом массиве // Изв. вузов Горн. журн. 1979. №1. С. 28 – 35.
3. *Кутузов Б.Н.* Взрывное и механическое разрушение горных пород. М.: Недра. 1973. 310 с.
4. *Вовк А.А., Смирнов А.Г., Благодаренко Ю.А.* О двух составляющих поля напряжений вблизи взрыва заряда ВВ // Ф.-т.п.р.п.н.1976. №6. С.28 – 31.
5. *Руппенейт К.В.* Деформируемость массивов трещиноватых горных пород. М.: Недра, 1975. 220 с.

