

Е. А. Несмашный /д. т. н./

А. В. Болотников /к. т. н./

ГУВЗ «Криворожский национальный университет», г. Кривой Рог, Украина  
 Академия горных наук  
 г. Кривой Рог, Украина  
 e-mail: bolotnikovav@ukr.net

## К вопросу выбора интервалов замедления при проведении массовых взрывов на карьерах

Y. A. Nesmashnyi /Dr. Sci. (Tech.)/  
 A. V. Bolotnikov /Cand. Sci. (Tech.)/

Kryvyi Rih National University Kryvyi Rih, Ukraine  
 Academy of mining sciences Ukraine  
 Kryvyi Rih, Ukraine  
 e-mail: bolotnikovav@ukr.net

## To the question of selecting intervals of decking in making explosions on careers

**Цель.** Обоснование выбора величины интервалов замедления при производстве массовых взрывов на карьерах.

**Методика.** Обоснование величины интервалов замедления производилось с учетом экспериментального определения скорости ударных сейсмических волн в породном массиве.

**Результаты.** Экспериментально установлены значения скорости распространения ударных сейсмических волн в сильно нарушенном скальном массиве.

**Научная новизна.** Установлено, что скорость распространения ударных сейсмических волн в сильно нарушенном породном массиве существенно ниже значений, определенных на образцах в лабораторных условиях.

**Практическая ценность.** На основании полученных данных пересмотрена методология выбора величины интервалов замедления при производстве массовых взрывов на карьерах. (Ил. 4. Библиогр.: 4 назв.)

**Ключевые слова:** короткозамедленное взрывание; интервалы замедления; скорость ударных сейсмических волн; метод триангуляционного треугольника.

**Введение.** Массовые взрывы на железорудных карьерах Криворожского бассейна ведут с использованием короткозамедленного взрывания (КЗВ) и неэлектрических методов инициирования взрыва типа «НОНЕЛЬ ЮНИДЕТ». Чтобы получить нужную последовательность инициирования, используют систему замедлителей «Снэплайн» с номиналом 0, 17, 25, 42, 67, 109 и 176 мс. Эта система замедлителей обеспечивает большую гибкость в подборе интервалов замедления для создания требуемой последовательности подрыва зарядов, с учетом геометрических параметров уступа и прочностных характеристик горной породы [1].

**Постановка проблемы.** Вместе с тем необходимо отметить, что при проектировании массовых взрывов на карьерах возникают трудности при выборе конкретного номинала серии «Снэплайн». При слишком большом интервале замедления взрыв может привести к повреждению последующего заряда, а при недостаточно большом интервале взрыв последующего колонкового

заряда происходит в зажатой среде, что негативно сказывается на качестве дробления горной породы.

Так, в соответствии с рекомендациями работы [4], интервал замедления при КЗВ должен соответствовать следующему условию:

$$\frac{a}{V} \leq \Delta\tau \leq \frac{\sqrt{a^2 + (W + W')^2}}{V}, \quad (1)$$

где  $a$  – расстояние между зарядами, м;  $V$  – скорость распространения ударных сейсмических волн в породном массиве, м/с;  $W$  – линия наименьшего сопротивления по подошве, м;  $W'$  – мнимая линия наименьшего сопротивления по подошве, м.

Данная методика, как практически и все другие, использует значение скорости распространения волн сжатия и растяжения (ударных сейсмических волн) в скальном массиве, значение которой определяется при лабораторных испы-

таниях образцов скальных пород акустическими методами [2].

Однако практика показывает, что использование данных, полученных на ненарушенных образцах скальных пород, применительно к реальным породным массивам, нарушенным разнообразными системами трещин, не всегда правомерно. Это приводит к неверному выбору интервалов замедления при проектировании массовых взрывов и, следовательно, ряду негативных результатов (повышенная сейсмика массового взрыва, увеличенный выход негабарита, некачественная проработка подошвы уступа и т. п.). Особенно это актуально для горного массива, разрабатываемого, например, карьером «Северный» ГОК «Механобр», так как он представляет собой конгломерат целиковых и разрушенных скальных пород различного литологического состава, образовавшегося в результате обрушения очистных горных выработок на шахте «Гигант-Глубокая».

В связи с вышеизложенным нами были выполнены исследования с целью экспериментального определения скорости ударных сейсмических волн в нарушенном скальном массиве.

**Методика исследований.** Регистрация сейсмических колебаний при производстве массового взрыва на карьере «Северный» производилась по методу многоканального измерения колебаний [3]. Для записи информации применялся электронный осциллограф TPS2014 фирмы Tektronix, который имеет встроенную функцию самостоятельного запуска при подходе сейсмической волны, в комплекте с электродинамическими датчиками СВ-10Ц и СГ-10.

Для определения скорости распространения ударной (сейсмической) волны в породном массиве были использованы два способа: метод прямого измерения и метод триангуляционного треугольника.

**Метод прямого измерения.** В этом случае два сейсмодатчика размещаются на некотором расстоянии друг от друга таким образом, что ось, их соединяющая, расположена перпендикулярно фронту сейсмической волны (рис. 1). С помощью осциллографа TPS2014 определяют интервал времени, за который происходит последовательное

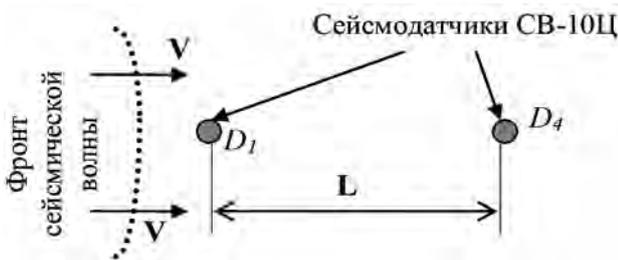


Рис. 1. Схема измерения скорости ударной сейсмической волны

прохождение ударной волны от одного датчика к другому.

Тогда скорость распространения ударной волны можно определить так:

$$V = \frac{L}{\Delta\tau}, \tag{2}$$

где  $V$  – скорость распространения сейсмической волны в горном массиве, м/с;  $L$  – расстояние между двумя датчиками, м;  $\Delta\tau$  – время прохождения ударной волны между датчиками, с.

Данный метод достаточно прост, но имеет один важный недостаток, заключающийся в том, что ось датчиков должна быть расположена строго перпендикулярно к фронту распространения ударной волны, что в условиях действующего карьера не всегда осуществимо.

**Метод триангуляционного треугольника.** Данный метод характерен тем, что направление подхода фронта сейсмической волны к трем датчикам, расположенным на точке измерения, не влияет на получаемые результаты. Расположим датчики  $D_1$ ,  $D_2$  и  $D_3$  одного типа, фиксирующие сейсмические колебания горной породы, в виде треугольника произвольной формы, на расстоянии 1–2 м друг от друга (рис. 2). При этом расстояния  $L_{12}$ ,  $L_{23}$  и  $L_{31}$  между каждой парой датчиков измеряются рулеткой с точностью  $\pm 1$  см и фиксируются.

Пусть сейсмическая волна (считаем ее фронт плоским) сначала приходит к датчику  $D_1$ , затем к датчику  $D_2$  и уже в последнюю очередь к датчику  $D_3$ . При этом ее направление составляет угол  $\gamma$  по отношению к отрезку  $L_{13}$ . На сейсмограмме, которая будет зафиксирована осциллографом TPS2014 при прохождении сейсмической волны через датчики, будут видны временные интервалы  $\Delta t_{12}$  и  $\Delta t_{13}$  – задержка, с которой волна приходит на датчики  $D_2$  и  $D_3$  относительно  $D_1$ .

Значение угла  $\alpha$  (рис. 2), используя теорему косинусов, может быть определено из следующего выражения:

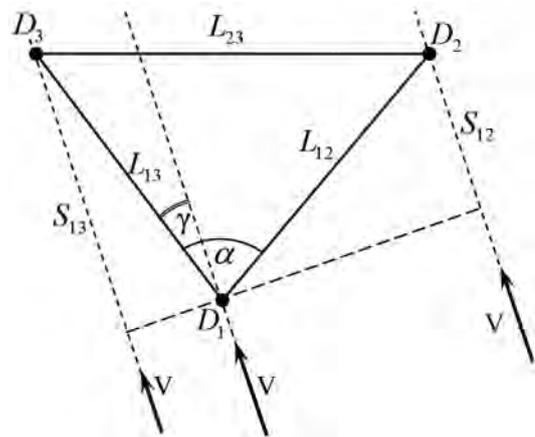


Рис. 2. Схема измерения скорости сейсмической волны с помощью триангуляционного треугольника

$$\alpha = \arccos\left(\frac{L_{12}^2 + L_{13}^2 - L_{23}^2}{2L_{12}L_{13}}\right). \quad (3)$$

Как видно из чертежа на рис. 2, разность расстояний, которые проходит сейсмическая волна от датчика  $D_1$  к датчикам  $D_2$  и  $D_3$ , будут соответственно равны:  $S_{12} = L_{12} \cos(\alpha - \gamma)$  и  $S_{13} = L_{13} \cos \gamma$ .

Тогда, считая скорость сейсмической волны постоянной, можем записать:

$$V = \frac{S_{12}}{t_{12}} = \frac{S_{13}}{t_{13}}, \quad (4)$$

откуда получаем следующее соотношение:

$$\frac{L_{12} \cos(\alpha - \gamma)}{t_{12}} = \frac{L_{13} \cos \gamma}{t_{13}}. \quad (5)$$

После несложных тригонометрических преобразований из выражения (3) получим:

$$\cos \gamma = \frac{\frac{L_{12}}{t_{12}} \sin \alpha}{\sqrt{\left(\frac{L_{13}}{t_{13}}\right)^2 + \left(\frac{L_{12}}{t_{12}}\right)^2 - 2\frac{L_{13}}{t_{13}}\frac{L_{12}}{t_{12}} \cos \alpha}}. \quad (6)$$

Тогда искомая скорость распространения сейсмической волны будет равна:

$$V = \frac{S_{13}}{t_{13}} = \frac{L_{13} \cos \gamma}{t_{13}} = \frac{L_{12}L_{13} \sin \alpha}{\sqrt{(t_{12}L_{13})^2 + (t_{13}L_{12})^2 - 2t_{12}t_{13}L_{12}L_{13} \cos \alpha}}. \quad (7)$$

**Полученные результаты.** Эксперимент по определению скорости распространения ударных сейсмических волн проводился в породном массиве карьера «Северный» ГОК «Механобр».

В границах взрывного блока развиты образования четвертого железистого горизонта ( $PR_1 sx^{4f}$ ) саксаганской свиты криворожской серии нижнего протерозоя, которые представлены гидрогематито-мартитовыми кварцитами слоистой текстуры, прочность которых по шкале проф. М. Протождьяконова равна  $f = 10 - 12$ .

Трещиноватость пород сильная, развиты разно-ориентированные трещины кливажа, разлома, отдельностей. В западной части блока развиты кварциты гематитовые ( $PR_1 sx^{5s}$ ) и джеспилиты мартитовые пятого железистого горизонта ( $PR_1 sx^{5f}$ ), по которым развиты трещины скола.

В пределах взрывного блока существенно развиты камеры и воронки обрушения от подземной отработки, которые заполнены техногенным и глинистым меланжем. Угол наклона слоистости пород от 42 до 50°. Наблюдаются штокоподобные залежи гематит-мартитовых руд. Степень увлажнения горных пород блока низкая.

Взрывной блок имел практически квадратную форму, размером 70 м. На блоке пробуре-

но 119 взрывных скважин, с углом наклона 90° и глубиной перебура 1 м. Сетка буровых скважин 7×7 м. Блок был заряжен безтритиловым ВВ, общее количество – 28,2 т. Вес заряда ВВ, который приходился на степень замедления, равнялся 240–260 кг, что составляло около 46 % от максимально разрешенной.

Проектная продолжительность подрыва блока равнялась 1075 мс. Блок подрывался с помощью неэлектрической системы инициирования «Импульс».

Измерительная аппаратура размещалась на расстоянии 200 метров к северу от взрывного блока на дне карьера (рис. 3). При этом скорость ударных сейсмических волн определялась двумя вышеописанными способами одновременно.



Рис. 3. Сейсмометрическая аппаратура на точке наблюдения

Ось датчиков  $D_1$  и  $D_4$  (расстояние между которыми было  $L_{14} = 19,0$  м) была ориентирована нормально ожидаемому направлению распространения ударной сейсмической волны для определения ее скорости прямым методом.

Система датчиков  $D_1$ ,  $D_2$  и  $D_3$  образовывала треугольный треугольник для определения скорости ударной сейсмической волны вторым способом (расстояние между датчиками в треугольнике было равным  $L_{12} = 1,42$  м;  $L_{13} = 1,88$  м;  $L_{23} = 1,78$  м). С учетом данных о фактическом расстоянии между датчиками, из выражения (2) определено значение угла  $\alpha = 63,5^\circ$ .

Копии осциллограмм сейсмических волн, которые записаны осциллографом на точке измерения, приведены на рис. 4.

Анализ этих осциллограмм позволил установить временные интервалы прохождения ударных сейсмических волн между первым и вторым датчиками  $t_{12} = 0,0011$  с; между первым и третьим датчиками  $t_{13} = 0,0006$  с; между первым и четвертым датчиками  $t_{14} = 0,0144$  с.

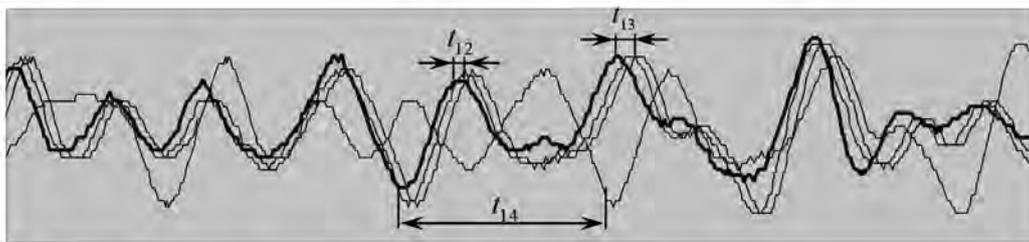


Рис. 4. Копии осциллограмм ударных сейсмических волн на точке наблюдения при подрыве взрывного блока в карьере «Северный» ГОК «Механобр»

Используя эти экспериментально полученные данные, на основании вышеприведенной методики установлено значение фактической скорости распространения ударных сейсмических волн при массовых взрывах на карьере «Северный». На основании формулы (1) получено значение  $V = 1320$  м/с, а на основании формулы (6) значение  $V = 1291$  м/с. Данные значения практически втрое меньше величин, приведенных в существующих справочниках для рассматриваемых скальных и полускальных пород [2].

**Выводы и перспективы дальнейших работ.** В результате выполненных экспериментальных работ установлено, что скорость распространения ударных сейсмических волн в горном массиве карьера «Северный» (ГОК «Механобр») находится в пределах  $V = 1291-1320$  м/с. Эти значения практически втрое меньше величин, приведенных в существующих справочниках для рассматриваемых скальных и полускальных пород.

Полученные значения фактической скорости распространения ударных сейсмических волн в горном массиве карьера позволяют более достоверно осуществлять выбор междускважинных интервалов замедления при проведении массовых взрывов на карьерах с целью уменьшения как удельного расхода ВВ, так и уровня их сейсмического воздействия на окружающую среду, а также повысить качество дробления скальных и полускальных горных пород в целом.

Учитывая, что разработанная методика экспериментального определения скорости распространения ударных сейсмических волн и выбора на этой основе интервалов замедления при проведении массовых взрывов на карьерах не требует значительных материальных и трудовых затрат, она может быть рекомендована для использования не только применительно к конкретному месторождению, но и для отдельных участков данного карьерного поля.

#### Библиографический список / References

1. НОНЕЛЬ. Инструкция по эксплуатации. Нитро Нобель АБ, S-71382, Гютторп, Нора, Швеция, 1985.

NONEL. User's manual. Nitro Nobel AB, S-71382, Gütthorop, Nora, Sweden, 1985

2. Ильницкая Е. И. Свойства горных пород и методы их определения / Е. И. Ильницкая, Р. И. Тедер. – М.: Недра, 1969. – 392 с.

Ilnizkai E. I., Teder R. I. *Svoistva gornix porod i metodi ix opredelenia* [Properties of rocks and methods of their definition] Moscow, Nedra, 1969, 392 p.

3. Селиванов В. В. Ударные и детонационные волны. Методы исследования / В. В. Селиванов, В. С. Соловьев, Н. Н. Сысоев. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 256 с.

Selivanov V. V., Soloviev V. S., Sysoev N. N. Shock and detonation waves. Methods of research. Moscow, Izd-vo MGU, 1990, 256 p.

4. Сейсмическое действие взрыва в горных породах. – М.: Недра, 1990. – 173 с.

Seismic action of an explosion in rocks. Moscow, Nedra, 1990, 173 p.

**Purpose.** Justification of the choice of the magnitude of the deceleration intervals in the production of mass explosions in quarries.

**Methodology.** The justification of the magnitude of the deceleration intervals was made taking into account the experimental determination of the velocity of shock seismic waves in the rock massif.

**Findings.** The propagation velocities of shock seismic waves in a strongly disturbed rock mass are experimentally established.

**Originality.** It is established that the propagation velocity of impact seismic waves in a strongly disturbed rock mass is much lower than the values determined on samples in laboratory conditions.

**Practical value.** Based on the data obtained, the methodology for selecting the magnitude of the deceleration intervals in the production of mass explosions in quarries was revised.

**Key words:** short-delayed blasting; slowing intervals; velocity of shock seismic waves; triangulation triangle method.

Рекомендована к публикации  
д. т. н. М. С. Четвериком

Поступила 31.01.2018