

УДК 622.235: 622.271

Е.А. НЕСМАШНЫЙ, д-р техн. наук, проф., А.И. ПЕРЕВЕРТАЙЛО, А.А. СКАЧКОВ, аспиранты
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН В ГОРНОМ МАССИВЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА КАРЬЕРЕ «СЕВЕРНЫЙ»

Разработана методика определения в натуральных условиях скорости распространения сейсмических волн в горном массиве при проведении массовых взрывов на карьере «Северный», и установлены ее численные значения в пределах 1280-1320 м/с.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. При разработке проектов массовых взрывов на карьерах, важнейшим параметром является количество ВВ размещаемого во взрывной скважине. Количество этого ВВ должно быть минимальным в соответствии с экономическими и экологическими требованиями, но достаточным для качественного разрушения горной породы. При этом в любой используемой математической модели разрушения горной породы скважинным зарядом используется показатель скорости распространения сейсмических колебаний в горной породе, так как без этого показателя невозможно рассчитать достоверную баллистику процесса. Однако экспериментальных данных об этом показателе, применительно к конкретным горным массивам, незначительны. Особенно это актуально для горного массива разрабатываемого карьером «Северный» ГОК «Механобр», поскольку он представляет собой конгломерат целиковых и разрушенных скальных пород, глинистых пород различного литологического состава, образовавшегося в результате обрушения очистных горных выработок на шахте «Гигант-Глубокая».

Целью данной работы является разработка методики и определение численных значений скорости распространения ударных сейсмических волн в горном массиве, представляющем собой конгломерат разрушенных скальных пород, при проведении массовых взрывов на карьере «Северный».

Краткое описание технологии горных работ на карьере «Северный».

С учетом горно-геологических условий залегания полезного ископаемого и типа горного массива, на карьере принята углубочная транспортная система разработки с параллельным продвижением фронта работ и комбинированным отвалообразованием. Вскрытие рудных тел производится скользящими съездами со стороны восточного и западного бортов карьера.

Угол откоса рабочих уступов: по наносам 60° , по коренным породам до 80° . Угол откоса нерабочих уступов - 65° . Угол погашения восточного борта карьера $40-45^\circ$, западного $31-36^\circ$.

Погрузка полезного ископаемого и вскрышных пород осуществляется экскаваторами ЭКГ-5А, для бурения скважин применяются станки шарошечного бурения СБШ-250, перевозка горной массы производится автосамосвалами БелАЗ. Руда из карьера транспортируется на ДСФ, вскрышные породы - в зону рекультивации западного борта карьера.

Высота уступа по скальным и рыхлым породам одинакова и составляет 10 м. Минимальная ширина рабочей площадки на уступе в рыхлых породах 28 м, в скальных - 26 м.

Методика проведения эксперимента. Запись сейсмических колебаний при производстве массового взрыва на карьере «Северный» производилась по методу многоканального измерения колебаний [1,4]. 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 сейсмической волны в породном массиве были разработаны два способа: прямым измерением; метод триангуляционного треугольника.

Прямой метод. 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 определяется интервал времени, за который происходит последовательное прохождение сейсмической волны от одного сейсмодатчика к другому.

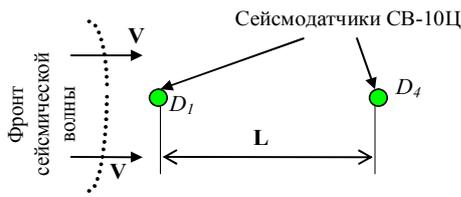


Рис. 1. Схема прямого метода измерения скорости сейсмической волны

Тогда скорость распространения сейсмической волны можно определить так [4]

$$V = L/\Delta\tau, \tag{1}$$

где V - скорость распространения сейсмической волны в горном массиве, м/с; L - расстояние между датчиками, м; $\Delta\tau$ - интервал времени прохождения сейсмической волны между двумя сейсмодатчиками, с.

Данный метод достаточно прост, но имеет один важный недостаток, заключающийся в том, что ось датчиков

должна быть расположена строго перпендикулярно фронту распространения сейсмической волны. Однако выполнить такое требование в условиях карьера бывает очень непросто. **Метод триангуляционного треугольника.** Данный метод характерен тем, что направление подхода фронта сейсмической волны к трем сейсмодатчикам, расположенным в месте измерения, не влияет на получаемые результаты. Расположим сейсмодатчики 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).

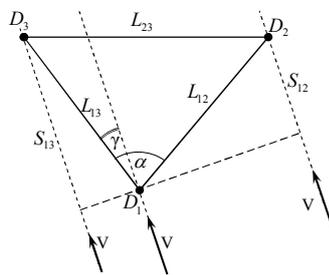


Рис. 2. Схема к определению скорости сейсмической волны с помощью триангуляционного треугольника

При этом расстояния L_{12}, L_{23} и L_{13} между каждой парой датчиков измеряются рулеткой с точностью ± 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 γ по отношению к отрезку L_{13} . На сейсмограмме, зафиксированной осциллографом TPS2014 при прохождении сейсмической волны через датчики, будут видны временные интервалы Δt_{12} и Δt_{13} - задержка, с которой волна приходит на датчики D_2 и D_3 относительно D_1 .

Значение угла α (см. рис. 2), используя теорему косинусов, может быть определено из выражения

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

Как видно из рис. 2, разность расстояний, которые проходит сейсмическая волна от датчика D_1 к датчикам D_2 и D_3 , будут соответственно равны

$$S_{12} = L_{12} \cos(\alpha - \gamma); S_{13} = L_{13} \cos \gamma,$$

Тогда, считая скорость сейсмической волны постоянной, можем записать

$$V = \frac{S_{12}}{t_{12}} = \frac{S_{13}}{t_{13}}, \tag{3}$$

Откуда получаем следующее соотношение

$$\frac{L_{12} \cos(\alpha - \gamma)}{t_{12}} = \frac{L_{13} \cos \gamma}{t_{13}}, \tag{4}$$

После несложных тригонометрических преобразований из выражения (4) получим

$$\cos \gamma = \frac{L_{12} \sin \alpha}{t_{12}} \bigg/ \sqrt{\left(\frac{L_{13}}{t_{13}}\right)^2 + \left(\frac{L_{12}}{t_{12}}\right)^2} - 2 \frac{L_{13}}{t_{13}} \frac{L_{12}}{t_{12}} \cos \alpha, \tag{5}$$

Тогда искомая скорость распространения сейсмической волны будет равна

$$V = \frac{S_{13}}{t_{13}} = \frac{L_{13} \cos \gamma}{t_{13}} = \frac{L_{12} L_{13} \sin \alpha}{\sqrt{(t_{12} L_{13})^2 + (t_{13} L_{12})^2} - 2 t_{12} t_{13} L_{12} L_{13} \cos \alpha}, \tag{6}$$

Результаты проведенного эксперимента. Эксперимент по определению скорости распространения сейсмических волн в породном массиве карьера «Северный» состоялся 21 февраля 2013 г. в 14⁰⁰, при осуществлении подрыва блока № 4.

Взрывной блок № 4 располагался в м.о. 98-106, гор. -90 м (рис. 3).

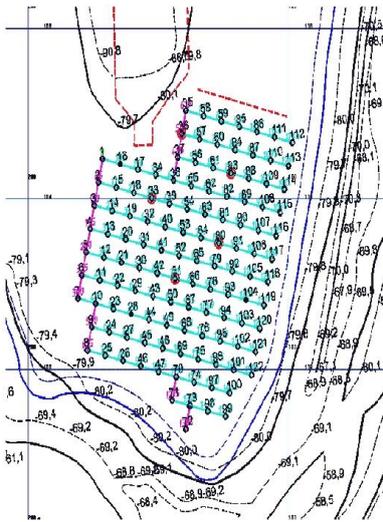


Рис. 3. Схема взрывного блока № 4

Блок № 4 имел практически квадратную форму, размером 70 м. На блоке пробурено 119 взрывных скважин, с углом наклона 90° и глубиной перебура 1 м. Сетка буровых скважин 7×7 м. Блок был заряжен безтротиловым ВВ типа гранулит КМ на основе аммиачной селитры. Общее количество ВВ 28,2 т. Вес заряда ВВ, который приходился на степень замедления, составлял 240-260 кг, что составляло около 46 % от максимально разрешенной. В качестве забивки использовался отсев скальных пород.

Проектный уровень сейсмических волн при взрыве блока № 4 был менее 2-х баллов по Международной шкале MKS - 64 [3].

Проектная продолжительность подрыва блока равнялась 1075 мс. Проектный выход горной массы с 1 пог. м буровой скважины составляет 44 м^3 . Блок № 4 подрывался с помощью неэлектрической системы инициирования «Импульс».

В целом все горнотехнические параметры взрывного блока соответствовали единым правилам безопасности [2].



Рис. 4. Сейсмометрическая аппаратура на точке наблюдения

Измерительная аппаратура размещалась на расстоянии 200 м к северу от взрывного блока №4 на дне карьера (рис. 4). При этом скорость сейсмических волн определялась двумя выше описанными способами, одновременно.

Ось сейсмодатчиков D_1 и D_4 (расстояние между которыми было $L_{14}=19,0$ м) была ориентирована перпендикулярно ожидаемому направлению распространения сейсмической волны для определения ее скорости прямым методом. Система датчиков D_1 , D_2 и D_3 образовывали триангуляционный треугольник для определения скорости 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. 5.

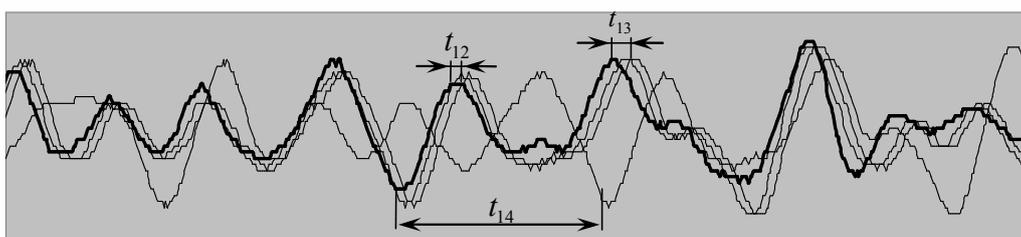


Рис. 5. Копии осциллограмм сейсмических волн на точке наблюдения при подрыве блока № 4 в карьере «Северный»

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

Используя эти экспериментально полученные данные, на основании приведенной методики, установлено значение фактической скорости распространения сейсмических волн при массовых взрывах на карьере «Северный» на основании

$$\text{формулы (1): } V = \frac{L_{14}}{t_{14}} = \frac{19,0}{0,0144} \approx 1320 \text{ м/с ;}$$

$$\text{формулы (6): } V = \frac{S_{13}}{t_{13}} = \frac{L_{13} \cos \gamma}{t_{13}} = \frac{1,88 \cdot 0,412}{0,0006} \approx 1291 \text{ м/с .}$$

Выводы. В результате выполненных экспериментальных работ установлено, что скорость распространения сейсмических волн в горном массиве карьера «Северный» (ГОК «Механобр») находится в пределах $V=1291-1320$ м/с. Эти значения на 12-14 % меньше, чем теоретическое значение скорости сейсмических волн ($V=1500$ м/с), которое использовалось при проектировании массовых взрывов на этом карьере.

Полученные значения фактической скорости распространения сейсмических волн в горном массиве карьера «Северный» позволят уточнить параметры массовых взрывов, с целью уменьшения, как удельного расхода ВВ, так и уровня их сейсмического воздействия на близлежащие жилые дома и промышленные сооружения.

Список литературы

1. Селиванов В.В, Соловьев В.С, Сысоев Н.Н. Ударные и детонационные волны. Методы исследования. - М.: Изд-во МГУ, 1990. - 256 с.
 2. Единые правила безопасности при взрывных работах. К.: Норматив, 1992. -172 с
 3. Правила проведения горных взрывов. Нормы безопасности сейсмических колебаний грунта. ДСТУ-ПА4704:2006, -К, Держспоживстандарт Украины, 2007.
 4. Сейсмическое действие взрыва в горных породах. – М.: Недра, 1990, -173 с.
- Рукопись поступила в редакцию 10.03.13

УДК 622.142.5

М.В. ШОЛОХ, канд. техн. наук, доц., О.Л. ТОПЧІЙ, М.П. СЕРГЄЄВА, ст.викладачі
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

МОДЕЛЮВАННЯ ВІДОСОБЛЕНИХ І ВЗАЄМОЗАЛЕЖНИХ ДИНАМІЧНИХ РЯДІВ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ КОРИСНОЇ КОПАЛИНИ

Виконано стохастичне моделювання відособлених і взаємозалежних динамічних рядів для прогнозування якісних показників рудної сировини Криворізького родовища залізистих кварцитів. Розглянуто методику моделювання взаємозалежних динамічних рядів. Видано рекомендації стосовно технології прогнозування з невеликими інтервалами дискретності.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Побудова стохастичних моделей динамічних рядів і їхнє використання для прогнозування базується на методах аналізу тимчасових рядів. Найбільш завершений - метод Бокса-Дженкінса [4].

Основними перевагами стохастичних моделей є їх високі адаптивні властивості, висока точність прогнозування, а також можливість моделювання нестационарних динамічних рядів. Досягається це за рахунок більш ефективного статистичного аналізу інформації.

Аналіз досліджень і публікацій. У методі Бокса-Дженкінса стохастична модель будується або за вихідними даними C_1, C_2, \dots, C_n , або по перетвореними (якщо ряд не є стаціонарним). У загальному випадку рівняння моделі має вигляд

$$X_t = \varphi_1 X_{t-1} + \varphi_2 X_{t-2} + \dots + \varphi_p X_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}, \quad (1)$$

де $X_t = C_t - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$; $\{\varphi_i\}$ - параметри авторегресії; $\{\theta_i\}$ - параметри ковзного середнього; ε_t -

«білий шум» з постійною дисперсією.