

УДК 622.235.  
535.2.622.  
235.4

**Б.Н. Кутузов, Б.В. Эквист**

## **ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ**

Рассмотрена взрывная сеть конкретного блока и проанализированы возможные взрывы зарядов из разных групп по замедлениям. Приведены результаты измерений сейсмических воздействий на окружающий массив горных пород с применением неэлектрической системы инициирования взрыва. Предложен расчет, основанный на анализе сейсмограмм взрывов записанных на расстоянии 150–200 м от него. Сейсмограмма разбивается на уровни по амплитуде и подсчитывается, сколько пиков скоростей находится в каждом диапазоне. Затем выбирается тот уровень, в котором большее количество пиков скоростей (наибольшая частота повторения), он соответствует количеству зарядов имеющих также наибольшую частоту повторения взрывов. По этим значениям находится коэффициент сейсмичности. Затем выбираются амплитуды скоростей, имеющие максимальные значения и определяется масса заряда, от которого возникли эти значения скоростей. Если массы зарядов превышают расчетные значения, то увеличивают интервалы между взрывами групп зарядов на следующем блоке до тех пор, пока масса зарядов, дающая максимальные значения амплитуд скоростей не будет равна расчетным значениям.

Ключевые слова: взрыв, точность, замедление, метод.

**П**о результатам исследований, проведенных на предприятиях ЗАО «Полус» Красноярского края, компании «Кумтор», республика Кыргызстан и на других, установлено, что короткозамедленное взрывание происходит с меняющимися, относительно расчетных, интервалами замедлений между взрывами отдельных и групп зарядов. Установлено, что если интервал замедления между взрывами зарядов выбран меньше отклонений по времени срабатывания замедлителей, возможно увеличение сейсмического воздействия массового взрыва из-за суммирования сейсмических процессов от взрывов большего количества зарядов, чем расчетное число в группе замедления. Приводимые в инструкциях допуски на замедления могут не соответствовать реальному отклонению.

Пример такого взрыва, сейсмограмма и схема взрывной сети, приведены на рис. 1, 2. При измерениях регистрирова-

лись составляющие массовой скорости по трем взаимно перпендикулярным осям:  $Z$  – в вертикальной плоскости,  $X$ ,  $Y$  – в горизонтальной; результирующее значение определялось как результат геометрического суммирования. Такая оценка наиболее полно отражает сейсмические процессы и воздействие на производственную среду.

В результате был зафиксирован одновременный взрыв 18 зарядов относительно расчетных 3. На сейсмограмме (рис. 2) отмечены амплитуды скоростей от 18 и 2 одновременных взрывов.

Предположим, что все полученные опытные значения скоростей  $V_1, V_2, V_3 \dots V_m$  находятся между числами  $a$  и  $b$ , т.е.

$$a \leq V_1 < V_2 < \dots < V_m \leq b .$$

Принимаем  $a = 2$  см/с и  $b = 16$  см/с.

Разделим интервал  $(a, b)$  на  $m$  одинаковых частей с точками деления

$$a = X_0 < X_1 < \dots < X_{m-1} < X_m = b$$

и рассчитаем относительную частоту такого события, при котором опытные значения  $V$  попадают между точками  $X_K$  и  $X_{K+1}$ .

Если данную относительную частоту изобразить вертикально над интервалом  $(X_K, X_{K+1})$ , то получится гистограмма близкая к функции плотности распределения скоростей .

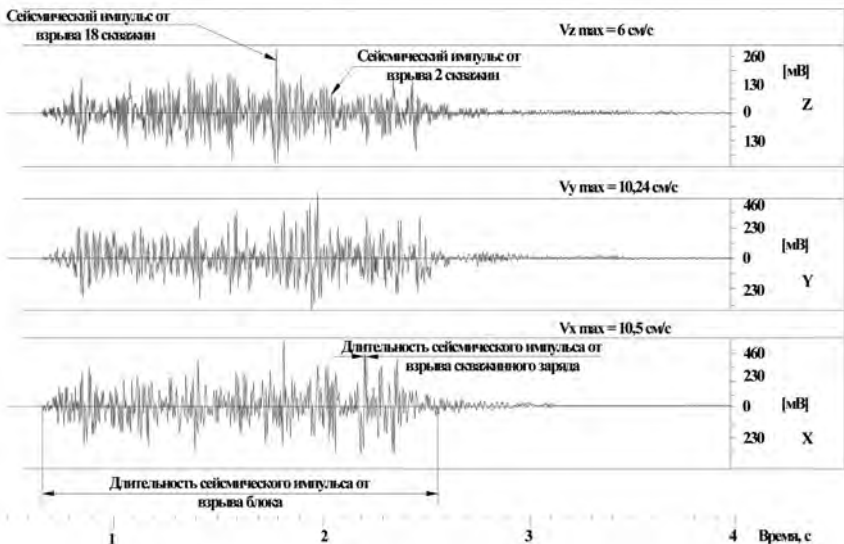


Рис. 1. Сейсмограмма взрыва

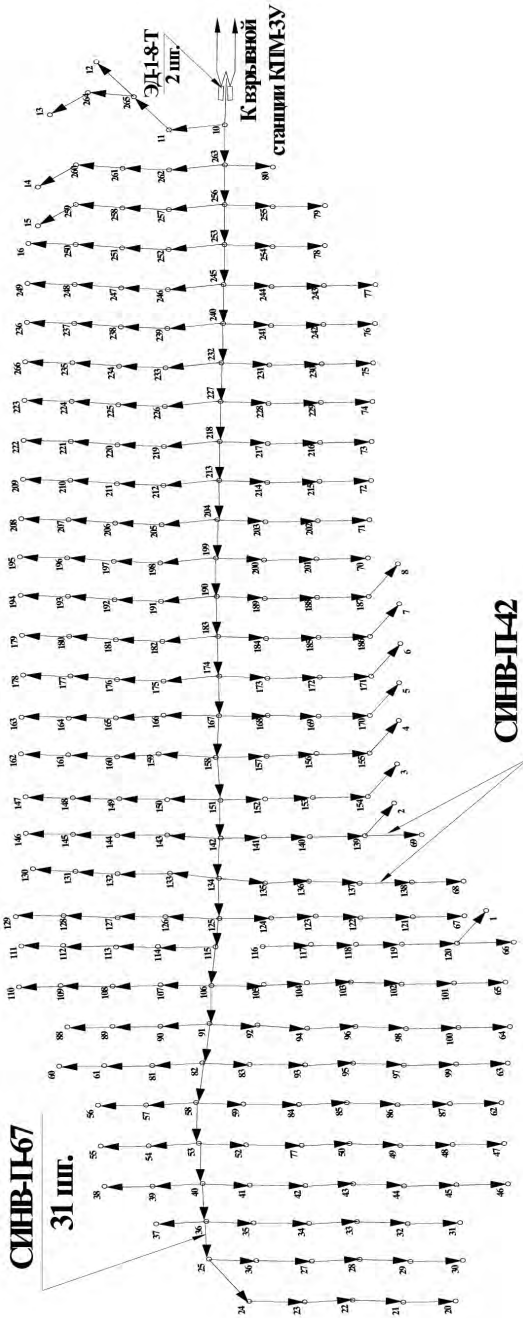


Рис. 2. Схема взрывной сети, неэлектрическая система инициирования

Примем  $a = X_0 = 2$  см/с,  $X_1 = 4$  см/с,  $X_2 = 6$  см/с, ...,  $X_m = b = 16$  см/с.

По оси отложим относительную частоту

$$f_0 = \frac{f_K}{f_{\max}},$$

где  $f_{\max}$  – максимальное значение числа величин  $V$  в интервале  $a - b$ ,  $f_{\max} = 188$ ,  $f_K$  – значение числа величин  $V$  в текущем интервале.

Пусть  $V_1, V_2, V_3 \dots V_m$  представляют собой значения  $V$  из  $m$  измерений. Функция распределения, основанная на опыте  $F_{(m)}(x)$  определяется следующим образом:

$$F_{(m)}(x) = 0, \text{ если } X \leq V_1;$$

$$F_{(m)}(x) = K/m, \text{ если } V_K \leq X < V_{K+1};$$

$$F_{(m)}(x) = 1, \text{ если } X \leq V_m.$$

Функция  $F_{(m)}(x)$  будет близка к функции  $F(x)$  с большей вероятностью при достаточно большом  $m$ . Это означает, что функцию  $F_{(m)}(x)$  можно считать некоторой оценкой функции  $F(x)$  и гистограмма будет близка к функции плотности распределения скоростей с высокой вероятностью (рис. 3).

Из гистограммы можно сделать вывод, что наибольшую частоту повторения имеют значения скорости  $V$  находящиеся в диапазоне 4–6 см/с, со средним значением 5 см/с. Очевидно,

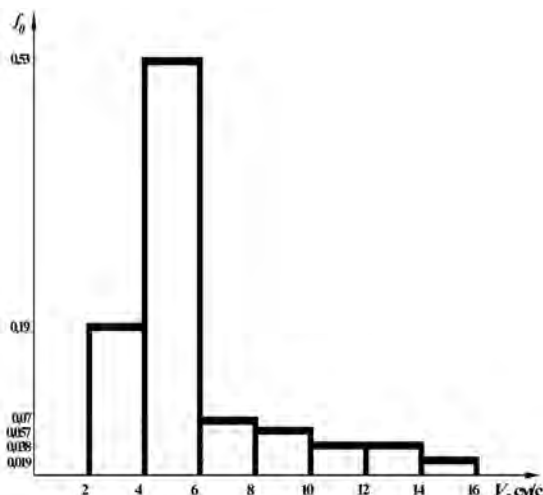


Рис. 3. Гистограмма распределения скоростей

что это соответствует взрыву расчетного количества скважинных зарядов равное двум общей массой 500 кг. Меньшие значения скоростей соответствуют взрыву одного заряда, а большие значения взрыву большего, чем два количества зарядов. В соответствии с формулой М.А. Садовского рассчитаем коэффициент сейсмичности

$$K = \frac{VR^{3/2}}{Q^{1/2}} = \frac{5 \cdot 170^{3/2}}{500^{1/2}} = 522,$$

где  $V = 5$  см/с (скорость имеющая наибольшую частоту повторения);  $R = 170$  м (расстояние от взрыва до сейсмодатчиков);  $Q = 500$  кг (масса двух скважинных зарядов, имеющих также наибольшую частоту повторения взрывов).

Найдем, какой заряд ВВ ( $Q_1$ ) необходимо взорвать одновременно, чтобы получилась максимальная скорость  $V_{\max}$ , зафиксированная сейсмоприемниками

$$V_{\max} = \sqrt{V_X^2 + V_Y^2 + V_Z^2} = \sqrt{10,5^2 + 10,24^2 + 6^2} = 15,8 \text{ см/с},$$

где  $V_X, V_Y, V_Z$  – максимальные значения скоростей по осям  $X, Y$  и  $Z$ . Масса одновременно взорванного заряда для рассчитанной скорости равна

$$Q_1 = \frac{V_{\max}^2 R^3}{K^2} = \frac{15,8^2 \cdot 170^3}{522^2} = 4500 \text{ кг}.$$

При этом число скважинных зарядов  $n$  взорвавшихся одновременно равно

$$n = \frac{Q_1}{250} = \frac{4500}{250} = 18,$$

где 250 кг – масса ВВ одного скважинного заряда.

Таким образом, увеличение сейсмического эффекта произошло из-за того, что взорвалось одновременно не 3, а 18 скважинных зарядов. На следующем блоке необходимо скорректировать время замедления между взрывами групп зарядов, с целью предотвращения взрывов зарядов из соседних групп.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Совмен В.К., Кутузов Б.Н., Марьясов А.Л., Эквист Б.В., Токаренко А.В.* Сейсмическая безопасность при взрывных работах. – М.: Изд-во «Горная книга», 2012. – 228 с.
2. *Льюис Э., Макни Д., Кутузов Б.Н., Эквист Б.В., Чунуев И.К.* Изучение сейсмического воздействия массовых взрывов на борт карьера рудника «Кумтор» // Горный журнал. – 2006. – № 8. – С. 48–50.
3. *Эквист Б.В.* Сейсмическое воздействие на окружающую среду взрывов зарядов с различным расположением на блоке, разными ин-

тервалами замедления и схемами инициирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2007. — № 8. — С. 249–253.

4. Семейкин Н.П., Помазов В.В., Эквист Б.В., Моныхов В.В. Геофизические приборы нового поколения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2008. — № 12. — С. 203–210. **ГИАБ**

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Кутузов Борис Николаевич — доктор технических наук, профессор,  
e-mail: b.n.kutuzov@gmail.com,

Эквист Борис Владимирович — доктор технических наук, профессор,  
e-mail: borisekwist@mail.ru,

МГИ НИТУ «МИСиС».

UDC 622.235.  
535.2.622.  
235.4

**B.N. Kutuzov, B.V. Eguest**

#### **EFFECTS OF EXPLOSIONS USING NOT ELECTRIC INITIATION SYSTEM**

A blast pattern designed for a particular block is considered, and optional variants of explosion of charges from different delay groups are analyzed.

The data on measurement of seismic effect exerted on surrounding rock mass by blasting with nonelectric blast initiation systems are presented, a calculation method is proposed based on analysis of blast seismograms recorded at a distance of 150–200 m from an explosion. A seismogram is divided into amplitude-based ranges and velocity peaks are counted in each range. Then, the range with the highest number of the velocity peaks is selected (the highest recurrence frequency); this range corresponds to the number of charges with the highest explosion recurrence frequency.

Based on the obtained values, seismicity coefficient is determined. Later on, the amplitudes of the maximum velocities are picked, and the weight of charge producing such velocities is calculated. If the actual weights of charges exceed the calculated values, then the time between blasting of groups of charges in the next block is increased until the weight of charges producing maximum velocity amplitudes is equal to the calculated values.

Key words: explosion, accuracy, slowdown, methods.

#### AUTHORS

Kutuzov B.N.<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: b.n.kutuzov@gmail.com,  
Eguest B.V.<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: borisekwist@mail.ru,

<sup>1</sup> Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,  
119049, Moscow, Russia.

#### REFERENCES

1. Sovmen V.K., Kutuzov B.N., Mar'yasov A.L., Ekvist B.V., Tokarenko A.V. *Seysmicheskaya bezopasnost' pri vzryvnykh rabotakh* (Seismic safety during blasting), Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2012, 228 p.
2. L'yuis E., Makni D., Kutuzov B.N., Ekvist B.V., Chunuev I.K. *Gornyy zhurnal*. 2006, no 8, pp. 48–50.
3. Ekvist B.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2007, no 8, pp. 249–253.
4. Semeykin N.P., Pomazov V.V., Ekvist B.V., Monakhov V.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2008, no 12, pp. 203–210.