

УДК 622.235.432

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ВЗОРВАННЫХ СКВАЖИН В ОДНОЙ ГРУППЕ****А. А. Кузьменко, О. Н. Чалай, С. Ю. Богуцкий, Д. В. Хлевнюк**

Институт гидромеханики НАН Украины

ул. Желябова, 8/4, г. Киев, 03680, Украина. E-mail:serg1989\_07@mail.ru

Рассмотрены вопросы разброса времени срабатывания инициирующих устройств и времени этого процесса на сейсмический эффект взрыва. По результатам экспериментальных исследований сейсмического воздействия массовых взрывов на карьерах определены условия, при которых происходит несанкционированное взрывание в одной группе большего количества зарядов, чем расчетное число по паспорту взрыва, что негативно влияет на окружающие объекты и увеличивает сейсмический эффект. Основываясь на принципах добавления волновых колебаний и на представлении массового взрыва скважинных зарядов как отдельных групп рассредоточенных зарядов, разработана методика определения реального количества взорванных скважинных зарядов, в том числе не запланированных паспортом массового взрыва, и максимальной массы взрывчатого вещества, которая взорвалась в отдельной группе скважинных зарядов.

**Ключевые слова:** скорость смещения, коэффициент сейсмичности, степень замедления, номинальное и фактическое время срабатывания детонатора, эффективная масса скважинного заряда.

**ВИЗНАЧЕННЯ РЕАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ПІДРВАНІХ СВЕРДЛОВИН В ОДНІЙ ГРУПІ****А. О. Кузьменко, О. М. Чала, С. Ю. Богуцкий, Д. В. Хлевнюк**

Институт Гидромеханики НАН Украины

вул. Желябова, 8/4, м. Київ, 03680, Україна. E-mail:serg1989\_07@mail.ru

Розглянуто питання розкиду часу спрацювання ініціюючих пристроїв і часу цього процесу на сейсмічний ефект вибуху. За результатами експериментальних досліджень сейсмічної дії масових вибухів на кар'єрах визначено умови, за яких відбувається несанкціоноване підривання в одній групі більшої кількості зарядів, ніж розрахункове число за паспортом вибуху, що негативно впливає на навколишні об'єкти та збільшує сейсмічний ефект. Базуючись на принципах додавання хвилових коливань і на представленні масового вибуху свердловинних зарядів як окремих груп розосереджених зарядів розроблена методика визначення реальної кількості підриваних свердловинних зарядів, в тому числі не запланованих паспортом масового вибуху та максимальної маси вибухової речовини, що підривалась в окремій групі свердловинних зарядів.

**Ключові слова:** швидкість зсуву, коефіцієнт сейсмічності, ступінь уповільнення, номінальний і фактичний час спрацювання детонатора, ефективна маса свердловинного заряду.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Анализ современного состояния производства взрывных работ (ВР) показал, что дальнейший рост интенсивности и масштабов ВР сдерживается вредным влиянием на окружающую среду сейсмических волн, вызываемых взрывами. Во избежание такого действия сейсмических волн, а также в целях повышения эффективности взрывов необходимо: более точно определять параметры, интенсивность и допустимые уровни воздействия взрывов на окружающую среду. Последнее прямо пропорционально зависит от одновременно взорвавшейся массы заряда взрывчатого вещества (ВВ), а при короткозамедленном взрыве (КЗВ) – это масса отдельной группы зарядов (количество скважинных зарядов ВВ), взрывающихся в одной ступени замедления.

Цель работы – определение реального количества взорванных скважин в одной группе для снижения сейсмического эффекта.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** В промышленной сейсмике при КЗВ под отдельной группой зарядов подразумеваются те скважинные заряды, которые взрываются (их амплитуды колебаний суммируются) в промежуток времени, не превышающий сдвиг фаз не более  $90^\circ$ . Этот промежуток времени незначительный и зависит от массы отдельного заряда и акустической жесткости грунта. При взрывном способе разработки скальных пород открытым способом он составляет 3–5 мс, и поэтому

точность определения времени замедления и фактическое количество взорвавшихся зарядов ВВ в одной ступени замедления приобретает важное значение.

Эта точность значительно повысилась в последние годы за счет применения неэлектрического способа инициирования зарядов с помощью волноводов типа Nonel. В Украине это системы «Импульс» (Шосткинский завод «Импульс») и «Прима-Ера» (Павлоградский химзавод). Появилась возможность поскважинного инициирования зарядов, что обеспечило снижение сейсмического эффекта при массовых взрывах (МВ).

Но и при использовании систем неэлектрического инициирования фактические значения срабатывания детонаторов-замедлителей отличаются от их номинальных значений в поверхностной сети от 10 до 20 %, а в внутрискважинных детонаторах от 5 до 10 %. Интервалы замедлений при монтаже взрывной сети выбираются без учета разброса времени срабатывания детонаторов, что часто приводит к незапланированному взрыву большего количества скважинных зарядов в ступени замедления, что, в свою очередь, повышает сейсмический эффект взрыва в целом.

В последнее время появилось несколько публикаций по проблеме разброса времени срабатывания инициирующих устройств и времени этого процесса на сейсмический эффект взрыва [1–4]. Вкратце ос-

тановимся на аналізі матеріала, представленого в роботах [3, 4], содержание которых совпадает почти полностью.

В учебном пособии [4] авторы говорят о теориях и сложностях при исследовании взрывных процессов в горном деле, упоминая теорему Котельникова, метод анализа Фурье и т.п. А при решении практической задачи (определении сколько же взорвалось зарядов одновременно), используя формулу М.А. Садовского, к сожалению, не учитывают следующие моменты:

- измерения трехкомпонентным сейсмографом проводятся в одной точке;
- показатель затухания волнового процесса определяется не теоретически, не экспериментально, а принимается равным 1,5 для всех условий взрыва;
- коэффициент пропорциональности (коэффициент сейсмичности) рассчитывается по формуле М.А. Садовского на основе замеренной скорости смещения в одной точке, известных расстояния и массы заряда, а также принимается показателем затухания волны или принимается значение предыдущих взрывов.

Для всех этих расчетов, на наш взгляд, неправильно используется векторная величина скорости смещения. Последняя обычно используется для характеристики устойчивости сооружения как показатель накопления энергии взрыва, а взаимосвязь между массой заряда и параметрами сеймовзрывных волн (СВВ) определяются отдельными импульсами.

Авторы [4], к сожалению, не учитывают, что воздействие от колебательного процесса может оцениваться модулем полного вектора скорости колебаний, если скорость смещения по составляющим

колебаний (x, y, z) определена в одно и то же время [5, 6], в противном случае, может сложиться так, что скорость смещения может превысить истинную почти в три раза.

Используя все просчеты, отмеченные выше, авторы [4] на одном из карьеров России получили 18 одновременно сдетонированных скважинных зарядов вместо двух запланированных.

В отличие от авторов [4] наши расчеты, основанные на неполных данных, позволяют утверждать, что на указанном карьере вместо двух запланированных одновременно взорвалось не более 4–5 зарядов.

Для получения минимальной интенсивности СВВ и качественного дробления горной породы детонаторы-замедлители СИН должны обеспечить минимальное отклонение интервалов времени инициирования зарядов от оптимальных, которые определены паспортом массового взрыва (МВ). На практике каждое номинальное время замедления имеет свое квадратическое отклонение, рассчитываемое по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

где  $x_i$  – i-й элемент выборки;  $\bar{x}$  – среднее арифметическое выборки.

С учетом (1) предельное значение времени замедления (мс) определяется по формуле:

$$t_n = t_n \pm 2\sigma \quad (2)$$

где  $t_n$  – номинальное время срабатывания детонатора-замедлителя, мс;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение, мс.

Время замедления устройств системы «Импульс» приведено в табл. 1.

Таблица 1– Время замедления устройств системы «Импульс»

Тип устройства	Номинальное время замедления, мс	Среднее квадратическое отклонение от номинального значения, мс	Предельное значение времени замедления, мс
УНС–П–0	0	–	0,1–3,0
УНС–П–15	15	2,0	11–19
УНС–П–25	25	2,5	20–30
УНС–П–40	40	3,5	33–47
УНС–П–65	65	4,5	56–74
УНС–П–105	105	5,0	95–115
УНС–П–150	150	6,5	137–163
УНС–П–200	200	8,0	184–216
УНС–С–100	100	5,0	90–110
УНС–С–150	150	6,5	137–163
УНС–С–200	200	8,0	184–216
УНС–С–250	250	10,0	230–270
УНС–С–300	300	11,0	278–322
УНС–С–350	350	12,0	326–374
УНС–С–400	400	12,0	376–424
УНС–С–450	450	12,0	426–474
УНС–С–500	500	12,0	476–524

Сотрудниками лаборатории сейсмической безопасности Института гидромеханики НАН Украины разработано методику определения количества взорвавшихся скважинных зарядов в одной группе (в одной ступени замедления), в том числе и с учетом незапланированных взрывов по причине разброса времени срабатывания детонаторов-замедлителей.

Методика состоит из двух частей.

*Первая* – это анализ взрывной сети блока с учетом предельных значений времени срабатывания поверхностных и внутрискважинных детонаторов-замедлителей.

Эта часть методики дает ответ на возможное количество несанкционированных взрывов зарядов ВВ в одной ступени замедления, а *вторая* часть методики – экспериментально-аналитическая – устанавливает истинное количество взорвавшихся зарядов. Нами разработано несколько вариантов второй части методики.

Рассмотрим применение разработанной методики на примере МВ в Рокитнянском гранитном карьере 30.07.14 г.

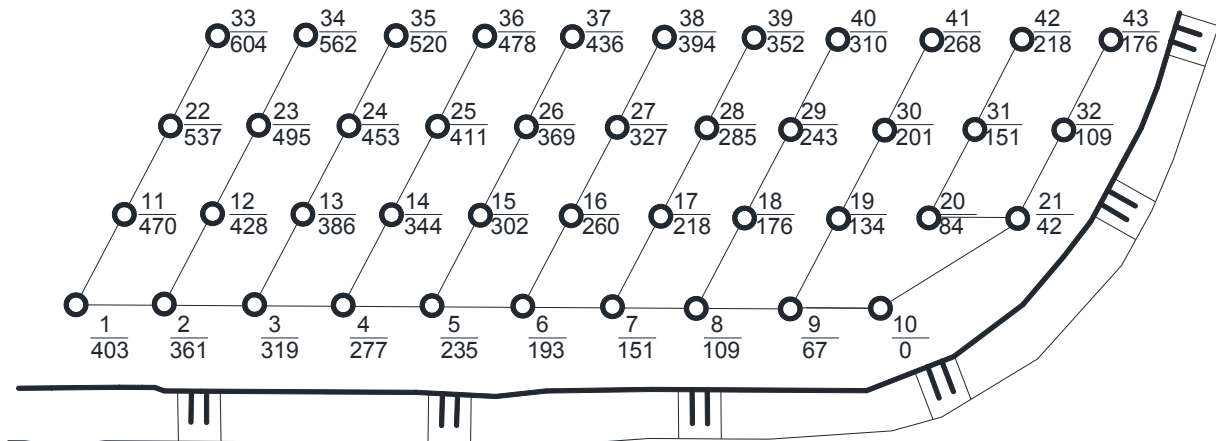


Рисунок 1– Схема взрывной сети блока № 20: числитель – номер скважины, знаменатель – время инициирования скважинного заряда (по паспорту МВ), мс

На рис. 1 представлена схема взрывной сети взрываемого блока № 20 на горизонте +136 м. Общая масса заряда 4750 кг анемикса-70 была размещена в 43 скважинах диаметром 125 мм. Масса одного скважинного заряда 110,5 кг, сетка скважин 4,8×4,15 м. Система инициирования зарядов – НЭ-СИ. Интервалы замедления по основному волноводу – 42 мс, по диагональным рядам – 67 мс.

Анализируя схему взрывания блока № 20 выделяем шесть аналогичных по расположению и по номинальному времени инициирования групп скважинных зарядов: №№ 19, 7, 31; 17, 5, 30; ... 13, 1, 26.

$$\begin{aligned} \circ \frac{31}{151} & \text{ УНС-П-67} \rightarrow 151 - 9 = 142 \text{ мс} \\ & (\text{УНС-П-67}) + (\text{УНС-С-500}) = 642 \pm 24 \text{ мс} \\ \circ \frac{19}{134} & \text{ УНС-П-67} \rightarrow 134 + 9 = 143 \text{ мс} \\ & (\text{УНС-П-67}) + (\text{УНС-С-500}) = 643 \pm 24 \text{ мс} \\ \circ \frac{7}{151} & \text{ УНС-П-42} \rightarrow 151 - 7 = 144 \text{ мс} \\ & (\text{УНС-П-42}) + (\text{УНС-С-500}) = 644 \pm 24 \text{ мс} \end{aligned}$$

Возможность одновременной детонации скважинных зарядов на блоке кроме замедлений определяется также расстояниями между ними. Последнее влияет на время прихода волнового движения массива грунта в начальное место инициирования груп-

пы зарядов. Более детально анализируем выделенные группы с учетом предельного времени замедления, как показано на нижеприведенной схеме, и в результате получаем, что в выделенной группе зарядов возможно одновременное инициирование трех зарядов, а если учесть (как указывалось выше), что аналогичных групп скважинных зарядов на взрываемом блоке 6, то возможность одновременного инициирования трех зарядов становится вполне реальной.

Чтобы произошло суммирование волновых движений время прихода не должно превышать допустимый сдвиг фаз между рассматриваемыми зарядами больше, чем на 90°, т.е.

$$\frac{360^0 \cdot r}{V_{\delta} \cdot \dot{\theta}} \leq 90^0, \quad (3)$$

где  $r$  – расстояние, м;  $V_p$  – скорость распространения продольной волны в данной горной породе, м/с;  $T$  – период колебаний продольной волны, с.

Анализируя схемы взрывания, приходится констатировать о невозможности полностью избавиться от взаимного перекрытия интервала замедления между смежными зарядами по двум главным причинам: разброс времени срабатывания детонаторов-замедлителей и обеспечение оптимального паритета между сейсмическим эффектом и эффективным дроблением горной породы.

Реальным путем решения указанной проблемы является применение для инициирования скважинных зарядов ВВ электронных детонаторов.

Рассмотрим другой способ нашей методики по определению количества взорвавшихся зарядов в одной группе, в том числе и непредусмотренные паспортом МВ, – экспериментально-аналитический.

При МВ в Рокитнянском гранитном карьере нами проведены профильные измерения параметров СВВ в направлении тыльной стороны взрываемого блока. Характеристика МВ приведена выше.

Для измерения параметров СВВ применялась стандартная сейсмоаппаратура: СМ-3 → АЦПЕ14–440 → ПК и трехкомпонентный сейсмограф Mini Mate Plus.

Скорость смещения грунта (см/с), полученная по результатам измерений, выражается зависимостью от расстояния в следующем виде:

$$U = K_1 \cdot r^{-n} = (870 \pm 5\%) \cdot r^{-1,1} \quad (4)$$

Взрыв группы зарядов рассматриваем как расщепленный заряд, где в результате взаимодействия зарядов эффективная масса одного скважинного заряда определяется из выражения [6]:

$$Q_{\text{эф}} = Q_{\text{скв}} \left[ \left( 1 - \frac{1}{N_b} \right) \cdot C + \frac{1}{N_b} \right] = 110 \cdot 0,369 = 40,5 \text{ кг}, \quad (5)$$

где  $N$  – запроектированное количество скважинных зарядов в группе;  $b$  – коэффициент, характеризующий затухание интенсивности сейсмической волны ( $b = \frac{3}{n} - 1$ );  $C$  – относительное расстояние между

зарядами ( $C = \frac{a}{2r_n}$ );  $r_n$  – граница зоны необратимых деформаций горного массива.

Зависимость скорости смещения грунта (см/с) от приведенного расстояния будет выглядеть следующим образом:

$$U = K_2 \left( \frac{r}{Q_{\text{эф}}} \right)^{-1,1}, \quad (6)$$

где  $K_2 = K \cdot N$  ( $K$  – коэффициент сейсмичности для данных условий взрывания;  $N$  – количество взорвавшихся и участвующих в сейсмическом процессе скважинных зарядов).

Из соотношения  $\frac{K_2}{K_1} = (Q_{\text{эф}}^{1/3})^{-1,1}$  определяем

$$K_2 = 870 \cdot (Q_{\text{эф}}^{1/3})^{-1,1} = 224. \quad (7)$$

Таким образом, чтобы определить количество взорвавшихся зарядов в одной группе, нам необходимо знать коэффициент сейсмичности при взрыве блока № 20.

Значение этого коэффициента можно использовать из предыдущего МВ, который проводился в этом же карьере, в аналогичных горно-геологических условиях и где было установлено, что в одной группе зарядов взрывалось два скважинных заряда.

Зависимость скорости смещения грунта (см/с) от приведенного расстояния предыдущего МВ выглядит следующим образом:

$$U = K \cdot N \cdot \left( \frac{r}{Q_{\text{эф}}^{1/3}} \right) = 75 \cdot 2 \left( \frac{r}{Q_{\text{эф}}^{1/3}} \right)^{-1,1}. \quad (8)$$

Используя (6)–(8), определяем количество взорвавшихся скважинных зарядов, в том числе и незапланированных паспортом МВ:

$$N = \frac{K_2}{K} = \frac{224}{75} \approx 3. \quad (9)$$

Таким образом, экспериментально-аналитическим способом подтверждено наше предположение об одновременном взрыве трех зарядов при анализе схемы взрывной сети блока № 20.

**ВЫВОДЫ.** Основываясь на принципах сложения волновых колебаний и на представлении массового взрыва скважинных зарядов как отдельных групп расщепленных зарядов, нами разработан метод определения количества одновременно взорвавшихся скважинных зарядов.

Сотрудниками лаборатории разработаны еще два варианта экспериментально-аналитического способа определения количества одновременно взорвавшихся скважинных зарядов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фокин В.А. Оценка сейсмического действия массового взрыва при инициировании скважинных зарядов электронными детонаторами // Горный журнал. – 2010. – № 7. – С. 65–67.
2. Меньшиков П.В. Сравнительный анализ фактических и номинальных интервалов замедления неэлектрических систем инициирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 2. – С. 277–282.

3. Кугузов Б.Н. Обеспечение сейсмобезопасности взрывов при неэлектрическом инициировании зарядов // Горный журнал. – 2004. – № 2. – С. 41–43.

4. Савмен В.К., Кугузов Б.Н. Сейсмическая безопасность при взрывных работах. – М.: Горная книга, 2012. – 228 с.

5. Орленко Л.П. Физика взрыва. – М.: Физматлит, 2002. – 832 с.

6. Параметри пружних хвиль при вибухах розосереджених зарядів /Кузьменко А.О.// Вісник Національного технічного університету України (КПІ), Серія «Гірництво». – 2000. – Вип. 3. – С. 45–51.

#### DEFINITION OF A REAL NUMBER OF WELLS BLOWN IN ONE GROUP

**A. Kuzmenko, O. Chala, S. Bogutskiy, D. Hlevnjuk**

Institute of Hydromechanics of National Academy of Sciences of Ukraine

vul. Zhelyabova, 8/4, Kyiv, 03680, Ukraine. E-mail:serg1989\_07@mail.ru

The authors have considered the problems of scatter operation time initiating device and time of this process on seismic explosion effect. Based on the results of experimental studies of seismic actions explosions in quarries specified conditions in which there is an unauthorized explosives in a group of more charges than the estimated number of passport explosion that negatively affects surrounding objects and increases the seismic effect. Being based on the principles of addition wave oscillations, and presenting explosion hole charges as separate groups dispersed charges developed a method of determining the actual number of blown hole charges, including non-scheduled passport explosion and the maximum weight of explosives were blown in a separate group hole charges.

**Key words:** speed bias, seismic coefficient, step slow, nominal and actual response time of the detonator, the effective mass of the downhole charge.

#### REFERENCES

1. Fokin, V.A. (2010), «Evaluation of the seismic action at initiation a mass explosion blasthole charges electronic detonators», *Gornyj zhurnal*, no. 7, pp. 65–67.

2. Men'shikov, P.V. (2011), «Comparative analysis of actual and nominal delay intervals of non-electric initiation systems», *Mining information-analytical bulletin*, no. 2, pp. 277–282.

3. Kutuzov, B.N. (2004) «Provide seismic explosions at non-electric initiating charges», *Gornyj zhurnal*, no. 2, pp. 41–43.

4. Savmen, V.K. and Kutuzov, B.N. (2012) *Seismicheskaja bezопасnost' pri vzryvnyh rabotah* [Seismic safety during blasting], Gornaja kniga, Moscow, Russia.

5. Orlenko, L.P. (2002) *Fizika vzryva* [Physics of explosion], Fizmatlit, Moscow, Russia.

6. Kuzmenko, A.O. (2000), «Parameters of elastic waves of explosions centered charges», *Visnyk Natsionalnogo tehničnogo universytetu Ukrainy «Kyivskiy polytetechnichnij institut»*. Seriya «Girnytstvo», vol. 3, pp. 45–51.

Стаття надійшла 27.11.2014.