

УДК 622.235.432

К ВОПРОСУ О ФАКТИЧЕСКОМ КОЛИЧЕСТВЕ ОДНОВРЕМЕННО ВЗОРВАВШИХСЯ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ

В. В. Бойко[†], А. А. Кузьменко, О. Н. Чала, Д. В. Хлевнюк

Институт гидромеханики НАН Украины
ул. Марии Капнист, 8/4, 03057, Киев, Украина

[†]E-mail: seismic-control@ukr.net

Получено 25.06.2018

Взрывные работы в промышленности, в том числе в горном деле при добыче полезных ископаемых, проводятся преимущественно с использованием скважинных зарядов. Для них предусмотрено системное деление на взрывае­мом блоке по отдельным группам. Каждая группа состоит из отдельных скважинных зарядов и фактически является совокупностью рассредоточенных зарядов. Группы взрываются по схеме короткозамедленного взрывания через определенные промежутки времени, составляющие не менее 20 мс. Сейсмический эффект такого взрыва определяется по формуле сосредоточенного заряда. Рассредоточенные заряды эффективно используются при проходке траншей в горном деле, образовании экранов и щелей близ охранных объектов. Только этот способ ведения взрывных работ позволяет оценить сейсмический эффект при переходе с одного диаметра заряда на другой, а также определить фактически сдетонированное количество зарядов в одной группе, которая может отличаться от рассчитанной в проекте буровзрывных работ. В статье проанализирована физическая суть процессов, происходящих при одновременном подрыве рассредоточенных зарядов. Исследован эффект направленности сейсмического воздействия взрыва рассредоточенных зарядов относительно линии их расположения. Проанализированы результаты экспериментальных исследований сейсмического действия короткозамедленных массовых взрывов в карьерах, полученные при взрывах рассредоточенных зарядов. На их основе разработана методика по определению фактического количества одновременно взорвавшихся скважинных зарядов, что не предусмотрено паспортом массового взрыва. При этом, параллельно с массовым взрывом, производится взрыв единичного скважинного заряда. Предложенная методика позволяет реально определить сейсмическое действие массовых взрывов на охранные объекты и выработать практические рекомендации по этому вопросу.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: скорость смещения грунта, коэффициент сейсмичности, время срабатывания детонатора, скважинный заряд, массовый взрыв, эффективная масса заряда, количество зарядов

1. ВВЕДЕНИЕ

Анализ современного состояния производства взрывных работ показал, что дальнейший рост их интенсивности и масштабов сдерживается вредным влиянием на окружающую среду сейсмических волн, вызываемых взрывами. Во избежание этого, а также в целях повышения эффективности взрывов необходимо более точно определять параметры взрывов, их интенсивность и допустимые уровни воздействия на окружающую среду. Последний фактор связан прямой пропорциональной зависимостью с массой одновременно взорвавшихся зарядов взрывчатого вещества (ВВ). При короткозамедленном взрывании определяющей становится масса отдельной группы зарядов (или количество скважинных зарядов), взрывающихся в одной ступени замедления.

Широкое применение в последние годы неэлектрического способа инициирования зарядов при КЗВ на основе волноводов типа Nonel резко изменило в лучшую сторону технологию ведения взрывных работ в отношении дробящего эффекта и привело к снижению сейсмического действия взрыва. Повысилась точность инициирования зарядов, что привело к возможности поскважинного инициирования зарядов, способствующего уменьшению сейсмического эффекта взрыва. Однако разброс фактического времени срабатывания детонаторов-замедлителей все еще отличается от их номинальных значений в поверхностной взрывной сети на (10...20) %, а во внутрискважинных детонаторах — (5...10) %. Интервалы замедлений при монтаже взрывной сети выбираются без учета разброса времени срабатывания детонаторов. Это зачастую 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 влияния этого процесса на сейсмический эффект взрыва [1–4]. Остановимся на анализе представленного в работе [2] материала для дальнейшего сравнения с нашими результатами. При исследований массовых взрывов на одном из карьеров России допущены следующие грубые ошибки:

- зависимость скорости смещения от расстояния получена по данным в одной точке;
- коэффициенты K и n в формуле М. А. Садовского получены не на основе исследований, а «волевым» решением;
- векторная величина скорости смещения получена не по одномоментным значениям всех трех компонент (X, Y, Z) [5, 6], а по их максимальным значениям в разное время;
- не применялось понятие «сдвиг фаз сейсмических волн» или «разность хода», поэтому в работе [2] насчитано 18 одновременно сдетонированных в одном месте скважинных зарядов вместо запланированных двух.

2. ИЗЛОЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА ИССЛЕДОВАНИЙ

Сотрудниками Научно-исследовательской лаборатории по проблемам сейсмической безопасности технологических взрывов Института гидромеханики НАН Украины на основе изучения закономерностей сейсмического действия взрыва рассредоточенного заряда ВВ разработана методика определения фактического количества одновременно

Табл. 1. Характеристика взрывов в Рокитнянском карьере

Номер взрыва	Диаметр скважины, мм	Количество скважин	Сетка скважин $a \times b$, м	Масса заряда ВВ в одной скважине, кг	Общая масса зарядов ВВ, кг	Тип ВВ	Система инициирования зарядов
4	130	66	5×4.2	100 ... 120	7265	ЕВР ЕРА2	Импульс
5	130	1	—	120	120	ЕВР ЕРА2	Импульс

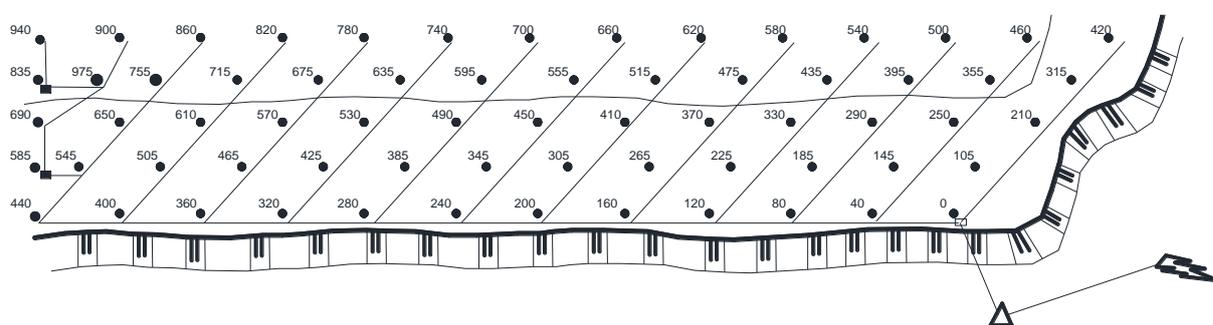


Рис. 1. Схема взрывной сети при массовом взрыве № 4 (320 мс — время инициирования заряда)

взорвавшихся зарядов. Она предусматривает измерение параметров сейсмозрывных волн как при массовом взрыве, так и при взрыве единичного скважинного заряда на этом же горизонте.

Рассмотрим применение разработанной методики на примере массового взрыва № 4 в Рокитнянском карьере 10.07.2015 года. Для измерения параметров СВВ применялась следующая сейсмоаппаратура: измерительный тракт в составе СМ-3, АЦПЕ14-440 и персонального компьютера, а также трехкомпонентный сейсмограф Mini Mate Plus. Характеристика массового взрыва № 4 и единичного взрыва № 5 в Рокитнянском карьере приведена в Табл. 1.

Предварительный анализ схемы взрывной сети на взрываемом блоке (Рис. 1) и сейсмограммы при единичном взрыве № 5 (Рис. 2) дает основания предполагать, что при массовом взрыве № 4 возможен единовременный взрыв не менее трех скважинных зарядов.

Результаты сейсмометрических измерений параметров СВВ приведены в Табл. 2. Здесь

$$U_S^Z = K_1 r^{-n} = 1062 r^{-1.22}, \quad (1)$$

$$U_S^Z = K_2 r^{-n} = 531 r^{-1.22}, \quad (2)$$

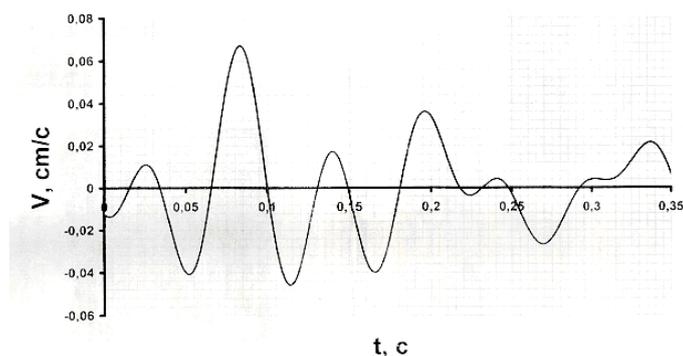
Рис. 2. Сейсмограмма единичного взрыва № 5 ($f=20$ Гц)

Табл. 2. Результаты сейсмометрических измерений

Номер взрыва	Составляющая колебаний	Расстояние (м)	Скорость смещения грунта (см/с)	Зависимость скорости смещения грунта (см/с) от расстояния (м)
4	Z	200	1.65	(1)
	Z	280	1.07	
	Z	330	0.89	
	Z	350	0.84	
	Z	370	0.77	
5	Z	350	0.42	(2)
	Z	500	0.27	
	X	550	0.28	
	Z	620	0.21	

Используя предварительный анализ, определим эффективную массу единичного заряда (кг) в составе массового взрыва № 4 по формуле для рассредоточенного заряда [7]:

$$Q_{\text{эф1}} = 120 \left[\left(1 - \frac{1}{N^b} \right) C + \frac{1}{N^b} \right] = 120 \times 0.288 = 34.56, \quad (3)$$

где $N = 3$, $b = 1.46$, $C = 0.11$. С помощью соотношения

$$\frac{K_2}{K_1} = (Q^{1/3})^{-1.22}, \quad (4)$$

где K_1 — коэффициенты пропорциональности в зависимостях (1) и (2), $Q^{1/3}$ — масса единичного скважинного заряда (кг) для взрыва № 5 ($120^{1/3} = 4.92$) и эффективная масса единичного заряда (кг) для массового взрыва № 4 $34.56^{1/3} = 3.25$, определяем коэффициенты пропорциональности K_2 в зависимостях скорости смещения грунта от

приведенной массы заряда. Так, при массовом взрыве № 4:

$$U_S^Z = K_2 \left(\frac{r}{Q_{\text{эф1}}^{1/3}} \right)^{-n} = 252 \left(\frac{r}{34.56} \right)^{-1.22} = K_C N \left(\frac{r}{Q_{\text{эф1}}^{1/3}} \right)^{-n}, \quad (5)$$

а при взрыве единичного заряда № 5

$$U_S^Z = K_2 \left(\frac{r}{Q^{1/3}} \right)^{-n} = K_C \left(\frac{r}{120^{1/3}} \right)^{-1.22}. \quad (6)$$

Зависимость (5) — это формула для определения скорости смещения при взрыве рассредоточенного заряда U_S^Z (см/с). Здесь $K_2 = 252 = K_C N$, где K_C — коэффициент сейсмичности, а N — количество рассредоточенных скважинных зарядов. Зависимость (6) — это формула для определения скорости смещения при взрыве единичного заряда. В ней всегда $K_2 = K_C$. Поэтому из формулы (6), используя данные Табл. 2 (r и U), определяем коэффициент сейсмичности K_C :

$$K_C = \frac{U_S^Z}{\left(\frac{350}{120^{1/3}} \right)^{-1.22}} = 76. \quad (7)$$

Используя формулу (5) для рассредоточенного заряда, значения K_C , полученные из соотношения (7), и данные Табл. 2 (r , U), определяем искомое фактическое количество одновременно взорвавшихся зарядов при массового взрыва № 4:

$$N = \frac{U_S^Z}{K_C \left(\frac{r}{Q_{\text{эф1}}^{1/3}} \right)^{-n}} = \frac{1.65}{76 \left(\frac{200}{3.25} \right)^{-1.22}} = 3.3 \approx 3. \quad (8)$$

Так, специалисты-взрывники, имея новую систему волноводов на блоке, при которой возможно поскважинное взрывание, рассчитывают получить на профиле 200...370 м скорость смещения грунта до (0.59...0.28) см/с. Фактически же из-за разброса времени срабатывания детонаторов, а возможно, и некачественной схемы взрывания, достигается в 2.7 раза больший сейсмический эффект — (1.65...0.77) см/с. Это может оказывать негативное влияние на охраняемые объекты и должно приниматься во внимание при планировании взрывных работ.

3. ВЫВОДЫ

1. Полезность методики по определению фактического количества одновременно взорвавшихся зарядов состоит в возможности правильно подвести итоги прошедшего массового взрыва. Это позволяет выработать практические рекомендации по организации следующего взрыва: изменить схему взрывания, провести проверку замедлителей и пр.

2. Наибольшую лепту в количество несанкционированных взрывов зарядов вносят внутрискважинные детонаторы-замедлители (500 мс). Разброс времени их срабатывания составляет 5...10%, что близко к интервалу задержки часто употребляемых поверхностных замедлителей 25 мс. В свою очередь, это ведет к несанкционированному взрыву зарядов соседней ступени замедления.
3. Наилучший выход для предотвращения несанкционированного взрывания зарядов — переход на использование электронных детонаторов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Оценка сейсмического действия массового взрыва при инициировании скважинных зарядов электронными детонаторами / Фокин В. А., Мелик-Гайказов И. В., Тогунов М. Б. и Шитов Ю. А. // Горный журнал. — 2010. — № 7. — С. 65–67.
- [2] Сейсмическая безопасность при взрывных работах / Совмен В. К., Кутузов Б. Н., Эквист Б. В. и Токаренко А. В. — Москва : Горная книга, 2012. — 228 с.
- [3] Меньшиков П. В., Синицын В. А. Сравнительный анализ фактических и номинальных интервалов замедления неэлектрических систем инициирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 2. — С. 277–282.
- [4] Эквист Б. В. Обоснование и разработка методов повышения безопасности сейсмического проявления короткозамедленного взрывания на горных предприятиях : дис. ... докт. техн. наук ; Московский горный государственный университет. — Москва, 2009. — 224 с.
- [5] Динамические процессы в геосферах. Сборник научных трудов Института динамики геосфер РАН. — 2013.
- [6] Физика взрыва / под ред. Орленко Л. П. — Москва : Физматлит, 2002. — Т. 1. — 832 с.
- [7] Кузьменко А. О. Параметри пружних хвиль при вибухах розосереджених зарядів // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія Гірництво. — 2000. — № 3. — С. 45–51.

REFERENCES

- [1] V. A. Fokin, I. V. Melik-Gaikazov, M. B. Togunov, and Y. A. Shitov, “Estimation of seismic effect of mass explosion in initiation of hole cartridges by electronic detonators,” *Gornyi Zhurnal*, no. 7, pp. 65–67, 2010.
- [2] V. K. Sovmen, B. N. Kutuzov, B. V. Ekvist, and A. V. Tokarenko, *Seismic safety in blasting*. Moscow: Gornaya Kniga, 2012.
- [3] P. V. Menshikov and V. A. Sinicyn, “A comparative analysis of actual and nominal deceleration intervals of non-electric initiation systems,” *Mining Informational and Analytical Bulletin*, no. 2, pp. 277–282, 2011.

- [4] B. V. Ekvist, *Substantiation and development of methods for improving the safety of seismic manifestations of short-delayed blasting at mining enterprises*. Dis. ... doct. tech. sci., Moscow State Mining University, Moscow, 2009.
- [5] “Dynamic processes in the geospheres. Transactions of Institute of Geosphere Dynamics of RAS,” 2013.
- [6] L. P. Orlenko, ed., *Explosion physics*, vol. 1. Moscow: Fizmatlit, 2002.
- [7] A. O. Kuzmenko, “Parameters of elastic waves in explosions of distributed charges,” *Collection of NTUU “KPI” Bulletin. Mining*, no. 3, pp. 45–51, 2000.

В. В. Бойко, А. А. Кузьменко, О. Н. Чала, Д. В. Хлевнюк
До питання про фактичну кількість одночасно підірваних
свердловинних зарядів

Вибухові роботи в промисловості, зокрема в гірничій справі при видобутку корисних копалин, проводяться переважно за допомогою свердловинних зарядів. Для них передбачено системний поділ на вибуховому блоці на окремі групи. Кожна група складається з окремих свердловинних зарядів і є сукупністю розосереджених зарядів. Групи вибухають за схемою короткосповільненого підривання через певні проміжки часу, що становлять не менше 20 мс. Сейсмічний ефект такого вибуху визначається за формулою зосередженого заряду. Розосереджені заряди ефективно використовуються при проходженні траншей у гірській справі, утворенні екранів та щілин поблизу охоронних об'єктів. Лише цей спосіб ведення підривних робіт дозволяє оцінити сейсмічний ефект при переході з одного діаметра заряду на інший, а також визначити фактично здетоновану кількість зарядів в одній групі, яка може відрізнятись від розрахованої в проекті робіт. У статті проаналізовано фізичну суть процесів, які відбуваються при одночасному підриві розосереджених зарядів. Досліджено ефект спрямованості сейсмічного впливу вибуху розосереджених зарядів щодо лінії їхнього розташування. Проаналізовано результати експериментальних досліджень сейсмічної дії короткосповільнених масових вибухів у кар'єрах, отримані під час вибухів розосереджених зарядів. На їх основі розроблено методику визначення фактичної кількості свердловинних зарядів, що одночасно вибухнули, що не передбачено паспортом масового вибуху. При цьому паралельно з масовим вибухом проводиться вибух одиничного свердловинного заряду. Запропонована методика дозволяє реально визначити сейсмічну дію масових вибухів на об'єкти, що охороняються, й виробити практичні рекомендації з цього питання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: швидкість зміщення ґрунту, коефіцієнт сейсмічності, час спрацьовування детонатора, свердловинний заряд, масовий вибух, ефективна маса заряду, кількість зарядів

V. V. Boiko, A. A. Kuzmenko, O. M. Chala, D. V. Hlevnyuk
On the actual number of the simultaneously blown-up borehole charges

Explosive work in industry, including mining in the extraction of minerals, is carried out mainly with borehole charges. In doing so, a systemic division of the explosion block into separate groups is provided. Each group consists of individual borehole

charges and is a set of dispersed ones. The groups explode according to the scheme of short-delayed blasting at certain intervals of at least 20 ms. The seismic effect of such an explosion is determined by the formula of lumped charge. The dispersed charges are effectively used when driving trenches in mining, forming screens and cracks near protected objects. Only this blasting method provides an evaluation of the seismic effect when switching from one charge diameter to another. Moreover, one can determine the detonated number of charges in one group, which may differ from that calculated in the drilling and blasting project. The article discusses the physical essence of the processes accompanying the simultaneous detonation of dispersed charges. The effect of the directionality of the seismic impact of an explosion of dispersed charges relative to the line of their location is studied. The results of experimental studying of seismic action of short-delayed mass explosions in quarries are analyzed. These data are obtained when exploding the dispersed charges. Based on them, a technique was developed to determine the practical numbers of the simultaneously exploded borehole charges that are not provided for by the passport of a mass explosion. At the same time, in parallel with the mass explosion, the single borehole charge is exploded. The proposed method allows for realistic determining the seismic effect of mass explosions on protected objects and practical recommendations on this issue.

KEY WORDS: earthquake velocity, seismicity factor, detonator response time, well-bore charge, mass explosion, effective charge weight, number of charges