

## НОВИЙ СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ СЕЙСМІЧНИХ ХВИЛЬ ПРИ МАСОВИХ ВИБУХАХ

**А. О. Кузьменко, О. М. Чала**

Інститут Гідромеханіки НАН України

вул. Желябова, 8/4, м. Київ, 03680, Україна. E-mail: chala.olya848@gmail.com

**В. А. Лемешко**

Інститут Геофізики НАН України ім. С.І. Субботіна

просп. академіка Палладіна, 32, м. Київ, 03142, Україна.

У результаті аналітичних і експериментальних досліджень розроблено і рекомендується для впровадження новий спосіб визначення інтенсивності сейсмічних хвиль при масових вибухах на основі формули розосередженого заряду. У порівнянні з існуючим способом, що називається формулою М.О. Садовського, запропоновано спосіб, спроможний забезпечити виконання таких важливих процесів, як прогнозування інтенсивності сейсмічних хвиль в діючих кар'єрах і на нових родовищах, одержувати значення коефіцієнтів  $K$  і  $n$  для всього горизонту робіт при одноразовому підриві одиничного свердловинного заряду. Новий спосіб пройшов перевірку при масових вибухах в умовах Рокитнянського, Лезниківського та Вирівського гранітних кар'єрів, де одержані розрахункові значення швидкості зміщення ґрунту (основний критерій небезпеки по дії коливань на будівлі) були на рівні вимірів сейсмометричної апаратури.

**Ключові слова:** сейсмічна хвиля, швидкість зміщення, коефіцієнт сейсмічності, ефективний заряд, кількість зарядів, вибух.

## НОВЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ

**А. А. Кузьменко, О. Н. Чала**

Институт гидромеханики НАН Украины

ул. Желябова, 8/4, г. Киев, 03680, Украина. E-mail: chala.olya848@gmail.com

**В. А. Лемешко**

Институт Геофизики НАН Украины им. С.И. Субботина

просп. академика Палладина, 32, г. Киев, 03142, Украина.

В результате аналитических и экспериментальных исследований разработан и рекомендуется для внедрения новый способ определения интенсивности сейсмических волн при массовых взрывах на основе формулы рассредоточенного заряда. В сравнении с существующим способом, так званой формулой М.А. Садовского, предлагаемый способ обеспечивает выполнение таких важных процессов как прогнозирование интенсивности сейсмических волн в действующих карьерах и на новых месторождениях, получают значения коэффициентов  $K$  и  $n$  для всего горизонта работ при одноразовом подрыве единичного скважинного заряда. Новый способ прошел проверку при массовых взрывах в условиях Рокитнянского, Лезниковского и Вывисского гранитных карьеров, где получены расчетные значения скорости смещения ґрунта (основной критерий опасности

## ЗАСТОСУВАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ НА ДЕННІЙ ПОВЕРХНІ Й У ПІДЗЕМНИХ УМОВАХ

по действию колебаний на сооружения) были на уровне измерений сейсмометрической аппаратуры.

**Ключевые слова:** сейсмическая волна, скорость смещения, коэффициент сейсмичности, эффективный заряд, количество зарядов, взрыв.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Існуючий спосіб визначення швидкості зміщення ґрунту або іншого об'єкту (формула М. О. Садовського) не дозволяє швидко і маловитратно провести визначення основних параметрів сейсмовибухової хвилі, якісно прогнозувати чи моделювати сейсмічну дію вибуху на охоронні об'єкти, зовсім неможливо з допомогою існуючого способу визначити фактичну кількість одночасно підірваних свердловинних зарядів, в тому числі по причині часового розкиду спрацювання уповільнювачів в мережі короткосповільненого підривання (КСП), або помилок у самій мережі. На жаль, досліджень і публікацій в цьому напрямку дуже мало [1–5].

Основним тормозом в роботі існуючого способу є ефемерна загальна маса групи зарядів, яка не відповідає фізичним процесам, що відбуваються при підриві розосереджених свердловинних зарядів.

Тому метою даної роботи є розробка нового способу визначення швидкості зміщення об'єкту під дією сейсмовибухової хвилі (СВХ) з використанням принципу розосередженого заряду, де основну роль відіграє одиничний свердловинний заряд.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Вибухові роботи у промисловості, в т. ч. у гірничій справі при добуванні корисних копалин, проводяться в основному з використанням свердловинних зарядів, які системно поділяються на блоці, що підривається, на окремі групи. Останні підриваються по схемі КСП через визначені проміжки часу (не менше  $1/4 T$ ).

Таким чином сейсмічний ефект групи розосереджених свердловинних зарядів, що фактично є сейсмічним ефектом масового вибуху (МВ), в т. ч. при видобутку корисних копалин у кар'єрі чи шахті, повинен розраховуватись по формулі розосередженого заряду, але так склалась історія розвитку КСП ще у попередньому столітті, що швидкість зміщення ґрунту ( $U$ ) при підриванні розосереджених зарядів розраховувалась, виходячи із загальної маси групи свердловинних зарядів, по так званій формулі М.О. Садовського [1–6]:

$$U = K \left( \frac{r}{Q_{ep}^{1/3}} \right)^{-n}, \quad (1)$$

де  $K$  – коефіцієнт пропорціональності;  $r/Q_{ep}^{1/3}$  – приведена відстань до загальної маси окремої групи свердловинних зарядів.

Швидкість зміщення ґрунту ( $U$ , см/с) в результаті підривання розосереджених свердловинних зарядів визначається по формулі [7, 8]:

## ЗАСТОСУВАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ НА ДЕННІЙ ПОВЕРХНІ Й У ПІДЗЕМНИХ УМОВАХ

$$U = K_c \cdot N \left( \frac{r}{Q_{ef}^{1/3}} \right)^{-n}, \quad (2)$$

де  $K_c$  – коефіцієнт сейсмічності, значення якого можливо одержати при окремому підриві одиничного свердловинного заряду, який по масі вибухової речовини (ВР) і конструкції не відрізняється від інших свердловинних зарядів на підірваному блоці;  $N$  – кількість свердловинних зарядів в одній максимальній групі;  $\frac{r}{Q_{ef}^{1/3}}$  – приведена відстань до ефективної маси одиничного свердловинного заряду, яка визначається наступним чином:

$$Q_{ef} = Q_1 \left( \left[ 1 - \frac{1}{N^b} \right] \cdot C + \frac{1}{N^b} \right), \quad (3)$$

де  $Q_1$  – фактична маса одиничного свердловинного заряду, кг;  $b$  – показник, що залежить від властивостей ґрунту через коефіцієнт затухання сейсмічної хвилі ( $b = \frac{3}{n} - 1$ );  $C$  – відносна відстань між окремими зарядами, ( $C = \frac{a}{2r_n}$ ). Тут  $a$  – відстань між окремими зарядами,  $r_n$  – радіус непружної зони.

Підрив одиничного свердловинного заряду бажано проводити паралельно з МВ до початку останнього на тому ж горизонті робіт і на відстані, що не приведе до пошкодження поверхневої мережі ініціюючих пристроїв.

Підрив одиничного заряду після МВ можливий на часі не менше як через 200–300 мс.

У новому способі визначення інтенсивності сейсмічних хвиль при МВ одиничний свердловинний заряд представляє собою основну ланку формули розосередженого заряду і одночасно є моделлю, яка має таку ж фізичну природу, як і спосіб, що вивчається. Ці властивості одиничного заряду дозволяють розділити значення коефіцієнту  $K$  на пружні властивості ґрунту і масштабність всього процесу, масу заряду представляти постійною величиною. Все це в кінцевому результаті дає можливість прогнозувати інтенсивність сейсмічних хвиль при МВ, одержувати значення коефіцієнтів  $K_c$  і  $n$  для всього горизонту робіт при одноразовому вимірі параметрів сейсмічних хвиль тільки одиничного заряду, визначати фактичну кількість одночасно підірваних свердловинних зарядів, в тому числі і непланово здетонованих.

Основна суть нового способу полягає в одержанні при підриві або розрахунковим шляхом значення пружної складової (коефіцієнта сейсмічності  $K_c$ ) у формулі розосередженого заряду з допомогою одиничного свердловинного заряду по масі ВР і конструкції співпадаючого з рештою свердловинних зарядів на блоці.

В якості прикладу розглянемо використання нового способу при сейсмометричних замірах параметрів сейсмічних хвиль від МВ у Рокитнянському гранітному кар'єрі, характеристика якого приведена в табл. 1.

# ЗАСТОСУВАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ НА ДЕННІЙ ПОВЕРХНІ Й У ПІДЗЕМНИХ УМОВАХ

Таблиця 1 – Характеристика МВ у Рокитнянському кар’єрі

	№ вибуху	Діаметр свердловини, мм	Кількість свердловинних зарядів	Сітка свердловинних зарядів а×b, м	Загальна маса зарядів, кг	Маса заряду в одній свердловині, кг
$*U=1083 \cdot r^{-1,22}$	3	102	64	4,2×3,1	6534	108
$U=1062 \cdot r^{-1,22}$	4	130	66	5×4,2	7265	100-120
$U=531 \cdot r^{-1,22}$	5	130	1	–	120	120
$U=768 \cdot r^{-1,22}$	6	102	30	4,2×3,1	2500	80-90

*\*U*– швидкість зміщення ґрунту, см/с; *r*– відстань від заряду ВР, м. Система ініціювання зарядів – Імпульс.

Для прикладу спочатку розглянемо хід досліджень і його результати тільки вибухів № 5 (одиничний заряд) і № 4 (МВ).

Одиничний заряд підривався до початку МВ і за 200 м від МВ на тому ж горизонті +136 м і були одержані наступні залежності швидкості зміщення (см/с) від відстані (*r*) [9, 10]:

$$\text{одиничний заряд} \quad U = 531 \cdot r^{-1,22} \quad (4)$$

$$\text{МВ} \quad U = 1062 \cdot r^{-1,22} \quad (5)$$

На рис. 1 і 2 представлені сейсмограми при вибухах № 4 і №5.

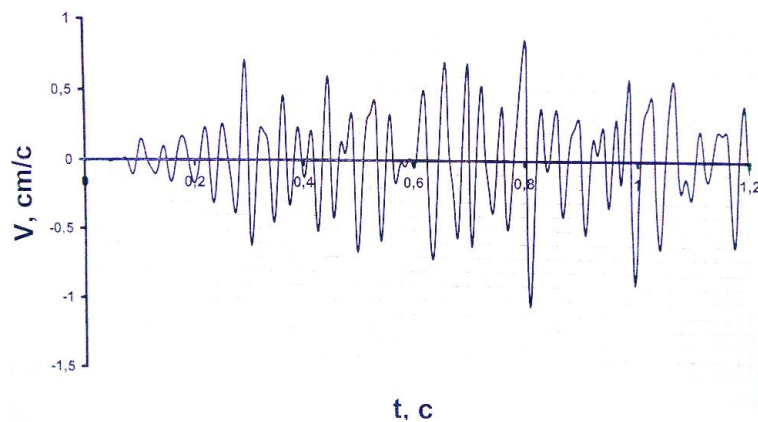


Рисунок 1 – Сейсмограма при вибуху № 4

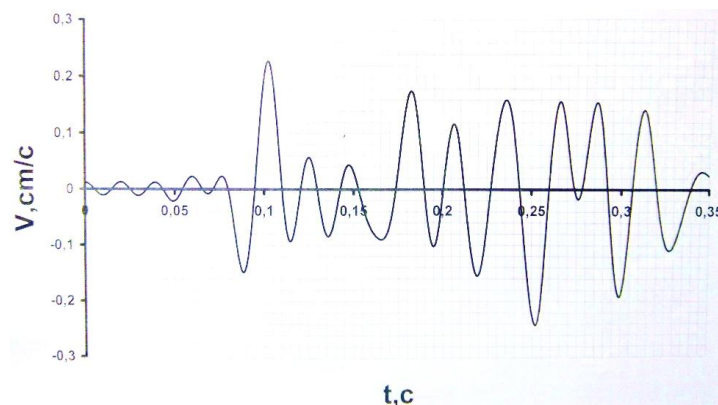


Рисунок 2 – Сейсмограми при вибуху № 5

## ЗАСТОСУВАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ НА ДЕННІЙ ПОВЕРХНІ Й У ПІДЗЕМНИХ УМОВАХ

Аналізуючи дані схеми сітки свердловинних зарядів на блоці і частоту коливань ґрунту у сейсмічних хвилях, встановлюємо, що при вибуху № 4 здетонувало 2 заряди в групі, враховуючи номінальні значення часових інтервалів затримки.

По формулі (3) визначаємо для МВ № 4 ефективний заряд ( $N = 2$ ;  $b = 1,46$ ;  $C = 0,11$ )  $Q_{\text{ef1}} = 51,65$  кг.

З допомогою залежностей (4) і (5) і співвідношення  $K_2/K_1 = (Q^{1/3})^{-1,22}$ , де  $K_1$  – коефіцієнт пропорційності у (4) і (5);  $K_2$  – коефіцієнт пропорційності у шуканих залежностях швидкості зміщення від приведеної відстані до маси зарядів, одержимо формули визначення швидкості зміщення (см/с) для МВ №4 як розосередженого заряду і одиничного заряду № 5:

$$U = K_2 \left( \frac{r}{Q_{\text{ef1}}^{1/3}} \right)^{-n}, \quad (6)$$

$$U = K_2 \left( \frac{r}{Q_1^{1/3}} \right)^{-n}. \quad (7)$$

Підставивши у формули (6) і (7) чисельні значення, одержимо формули для визначення швидкості зміщення ґрунту (см/с) при МВ № 4:

$$U = 214 \left( \frac{r}{51,6^{1/3}} \right)^{-1,22}, \quad (8)$$

і вибуху одиничного заряду №5:

$$U = 76 \left( \frac{r}{120^{1/3}} \right)^{-1,22}. \quad (9)$$

Теорія і практика інженерної сейсмології декларує, що коефіцієнт пропорційності при вибуху одиничного заряду є коефіцієнтом сейсмічності  $K_c$ . Тому у формулі (6), що характеризує розосереджений заряд, коефіцієнт пропорційності  $K_2$  представляє собою добуток:

$$K_2 = K_c \cdot N, \quad (10)$$

де  $K_c$  – коефіцієнт сейсмічності;  $N$  – кількість одиничних зарядів, одночасно підірваних в окремій групі.

З (10) вираховуємо кількість одиничних зарядів, одночасно підірваних при МВ № 4:

$$N = 214 / 76 = 2,81. \quad (11)$$

Дещо раніше, при аналізі ініціювання зарядів на блоці вибуху № 4 нами було встановлено, що одночасно підірвалось два заряди, а тут розрахунок показує, що  $N = 2,81$ . Можливо відбулось непланове детонування зарядів у наслідок розкиду часового інтервалу сповільнення або інше. Перевіримо цей випадок іншим методом [11–13]. Для цього застосуємо метод ефективного заряду при вибуху оди-

## ЗАСТОСУВАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ НА ДЕННІЙ ПОВЕРХНІ Й У ПІДЗЕМНИХ УМОВАХ

ничного заряду № 5, тобто зрівняємо його по масі з іншими зарядами вибуху № 4 і порівняємо швидкість зміщення ґрунту при вибухах № 5 і № 4 на одній і тій же відстані через систему рівнянь:

$$\begin{cases} 0,3 = K_c \left( \frac{350}{51,6^{1/3}} \right)^{-1,22} \\ 0,84 = K_c \cdot N \left( \frac{350}{51,6^{1/3}} \right)^{-1,22} \end{cases} \quad (12)$$

Розв'язуючи цю систему рівнянь, знаходимо, що  $N=2,80$ .

Таким чином, наш новий спосіб визначення інтенсивності сейсмічних хвиль при масових вибухах вже працює і допомагає ефективно розв'язувати виникаючі проблеми.

Порівняємо точність визначення швидкості зміщення ґрунту по методах зосередженого і розосередженого заряду.

Зробимо це на прикладі МВ № 4 (табл. 2)

Таблиця 2 – Порівняльна таблиця МВ № 4

	г, м	200	280	330	350	370
МВ № 4 як зосереджений заряд	$\bar{r} = \left( \frac{r}{336^{1/3}} \right)$	28,8	40,3	47,5	50,4	53,5
	$U = 100 \left( \frac{r}{336^{1/3}} \right)^{-1,22}$ , см/с	1,65	1,1	0,9	0,84	0,78
МВ № 4 як розосереджений заряд	$\bar{r} = \left( \frac{r}{51,6^{1/3}} \right)$	53,8	75,3	88,7	94,1	99,5
	$U = 2,8 \cdot 76 \left( \frac{r}{51,6^{1/3}} \right)^{-1,22}$ , см/с	1,65	1,09	0,89	0,83	0,78

Як і слідче очікувати два способи мають рівні значення швидкості зміщення на одні і ті ж відстані (див. табл. 2), але новий спосіб має суттєві переваги над існуючим. Про це у висновках.

Розглянемо ще одне питання. Теорія і практика вибухових робіт показує, що в степеневих регресіях, типу формули М. О. Садовського, якщо декілька залежностей мають рівний показник затухання СВХ  $n$ , то в них і коефіцієнт сейсмічності рівний за значенням для таких залежностей. Це великий плюс для нашого нового способу, тому що, наприклад, для МВ № 3 і 6 не потрібно підривати одиничні заряди, а користуватись коефіцієнтом сейсмічності  $K_c=76$ .

Ще є багато питань для покращення нового способу: теоретичне визначення коефіцієнта сейсмічності, використання залежностей з різними показниками затухання інтенсивності сейсмічних хвиль, визначення значення самого показника затухання та ін.

**ВИСНОВКИ.** Новий спосіб визначення інтенсивності сейсмічних хвиль при масових вибухах, крім виконання обов'язків на рівні існуючого способу, дозволяє:

- якісно прогнозувати інтенсивність сейсмічних хвиль при МВ;
- одержувати значення коефіцієнтів  $K_c$  і  $n$  для всього горизонту робіт при одноразовому вимірі параметрів сейсмічних хвиль тільки одиничного заряду;

## ЗАСТОСУВАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ НА ДЕННІЙ ПОВЕРХНІ Й У ПІДЗЕМНИХ УМОВАХ

- визначити фактичну кількість одночасно підірваних свердловинних зарядів, в тому числі і непланово здетонованих.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Физика взрыва / ред. Л.П. Орленко [3-е изд.]. М.: Физматлит. 2002. 832 с. (т. 1).
2. Белин В.А., Холодинов А.Н., Господариков А.П. Методические основы прогнозирования сейсмического действия массовых взрывов. *Горный журнал*. 2017. № 2. С. 66–69.
3. Несмашний Є.О., Федін К.А. Визначення сейсмотезпечних параметрів масових вибухів при будівництві траншеї глибокого вводу на кар'єрі «ПівдГЗК». *Вісник Криворізького національного університету*. 2013. Вип. 35. С. 18–23.
4. Артемов В.А., Виноградов Ю.И., Холодилов А.Н., Густов С.В., Щербаков Н.Я. Исследование сейсмобезопасных условий производства массовых взрывов на руднике ОАО «Ново-Широкинский рудник». *Взрывное дело*. 2011. № 105/62. С. 239–252.
5. Oncu M.E., Yön B., Akkoyun O., Taskiran T. Investigation of blast-induced ground vibration effects on rural buildings. *Structural Engineering and Mechanics*. 2015. Vol. 54. № 3. pp. 545–560.
6. Кузьменко А.О. Параметри пружних хвиль при вибухах розосереджених зарядів. *Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія «Гірництво»*. Київ. 2000. Вип. 3. С. 45–51.
7. Сысоев А.А. Анализ систем инициирования скважинных зарядов на карьерах. Известие вузов. *Горный журнал*. 2016. № 4. С. 60–67.
8. Меньшиков П.В. и др. Сравнительный анализ фактических и номинальных интервалов замедления неэлектрических систем инициирования. *ГИАБ*. 2011. № 2. С. 277–282.
9. Совмен В.К., Кутузов Б.Н., Марьясов А.Л., Эквист Б.В., Токаренко А.В. Сейсмическая безопасность при взрывных работах. Москва: Горная книга. 2012. 228 с.
10. Кузьменко А.А., Чалая О.Н., Богуцкий С.Ю., Хлевнюк Д.В. Определение реального количества взорванных скважин в одной группе. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук, 2014. Вип. 6(1). С. 112–116.
11. Кузьменко А.А., Чалая О.Н., Тарасюк Е.С. К вопросу о фактическом количестве одновременно взорвавшихся скважинных зарядов. *Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки*. 2018. № 2(82). С. 22–30.
12. Вовк А.А., Кузьменко А.А. Сейсмическое действие взрыва рассредоточенного заряда. *Прикладна гідромеханіка*. 2001. Т. 3 (75). № 2. С. 5–9.
13. Кузьменко А.А., Чалая О.Н., Хлевнюк Д.В. О количестве фактически взрывающихся зарядов в одной группе. *Вісник НТУУ «КПІ». Сер. «Гірництво»*. 2014. Вип. 26. С. 38–46.

A NEW METHOD OF DEFINITION THE INTENSITY OF SEISMIC WAVES  
IN MASS EXPLOSIONS

**A. Kuzmenko, O. Chala**

Institute of Hydromechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine  
vul. Zhelyabova, 8/4, Kyiv, 03680, Ukraine. E-mail: chala.olya848@gmail.com

**V. Lemeshko**

Institute of Geophysics NAS of Ukraine named after Subbotin  
prosp. Academician Palladin, 32, Kyiv, 03142, Ukraine.

**Purpose.** Creation of a method for determining the parameters of seismic waves in mass explosions based on a dispersed charge. Getting calculated results that will not exceed the permissible deviations from the actual data. **Methodology.** Observance of the energy law of similarity between a model, which is a single charge, and a charge of a mass explosion. **Result.** The created method of determining the parameters of seismic waves in mass explosions based on the formula of dispersed charge has been checking at mass explosions in Rokitnyansk granite career. Estimated values of the rate of soil displacement (the main criterion of danger due to fluctuations in buildings and structures) were at the level of measurements of seismic equipment, for which tolerable deviations in field studies are  $\pm 15\%$ . **Originality.** In this design, a single well bore charge is a basic link in the formula of a dispersed charge, and simultaneously it is a model that has the same physical nature as in this method. All this contributes to the successful completion of research. **Practical value.** Possibility of predicting the intensity of seismic waves in mass explosions, conducting small scale seismic measurements, which reduces the time and cost of research, obtaining the values of the coefficients  $K$  and  $n$  at a one-time measurement for the entire horizon (mineral deposits) of works increases the chances of a new way of existence. The possibilities of the new method listed here impossible to execute under an existing method based on the ephemeral total mass of charges. **Conclusions.** A new way of determining the intensity of seismic waves allows: - to predict the intensity of seismic waves in a mass explosion; - obtain the calculated parameters of seismic waves at the level of permissible error of seismic equipment; - get the values of the coefficients  $K$  and  $n$  for the whole horizon of work at a one-time measurement; - determine the actual number of simultaneously exploded borehole charges, including unplanned discovery.

**Key words:** seismic wave, displacement velocity, seismicity coefficient, effective charge, number of charges, explosion.

REFERENCES:

1. Physics of the explosion (2002)/ ed. Orlenko [3rd ed.]. *Moskva: Fizmatlit.* 832 p. (t. 1).
2. Belin, V.A., Kholodinov, A.N., Gordarikov, A.P. (2017) "Methodological bases for forecasting seismic action of mass explosions", *Gorniy zhurnal*, no. 2. pp. 66–69.
3. Nesmashnyy, Ye.O., Fedin, K.A. (2013) "Determination of seismic parameters of mass explosions during the construction of a deep entry trench on the "SouthernGZK" quarry", *Visnyk Kryvorizkoho natsionalnogo universytetu*, no. 35. pp. 18–23.



4. Artemov, V.A., Vinogradov, Yu.I., Kholodilov, A.N., Gustov, S.V., Shcherbakov, N.Ya. (2011) “Investigation of Seismic Safe Conditions for the Production of Mass Explosions at the Novo-Shirokinsky Rudnik JSC”, *Vzryivnoe delo*, no 105/62. pp. 239–252.
5. Oncu, M. E., Yön, B., Akkoyun, O., Taskiran, T. (2015) “Investigation of blast-induced ground vibration effects on rural buildings”, *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 54. no. 3. pp. 545–560.
6. Kuzmenko, A.O. (2000) “Parameters of elastic waves in bursts of dispersed charges”, *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy “KPI”. Seriiia “Girnyystvo”*, Kiev. no. 3. pp. 45–51.
7. Sysoev, A.A. (2016) “Analysis of systems for initiating well boreholes on quarries”, *Yzvestye vuzov. Gornyy zhurnal*, no. 4. pp. 60-67.
8. Menshikov, P.V. etc. (2011) “Comparative analysis of actual and nominal slowing intervals of non-electric initiation systems”, *HYAB*, Moscow, Russia, no. 2. pp. 277–282.
9. Sovmen, V.K., Kutuzov, B. N., Mariasov, A.L., Эkvyst, B.V., Tokarenko, A. V. (2012) “Seismic safety during explosive works”, *Moskva: Gornaya kniga*. 228 p.
10. Kuzmenko, A.A., Chalaya, O.N., Bogutsky, S.Yu., Hlevnyuk, D.V. (2014) “Determination of the actual number of exploded wells in one group”, *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnogo universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskogo*, no 6 (1). pp. 112–116.
11. Kuzmenko, A.A., Chalaya, O.N., Tarasyuk, E.S. (2018) “On the question of the actual number of simultaneously exploded well boreholes”, *Visnyk ZhDTU. Seriiia: Tekhnichni nauky*, no. 2 (82). pp. 22–30.
12. Vovk, A.A., Kuzmenko, A.A. (2001) “Seismic effect of explosion of dispersed charge”, *Prykladna hidromekhanika*, Т. 3 (75). no. 2. pp. 5–9.
13. Kuzmenko, A.A., Chalaya, O. N., Hlevnyuk, D.V. (2014) “About the number of actually explosive charges in one group”, *Visnyk NTUU «KPI». Ser. «Hirnyystvo»*, no. 26. pp. 38–46.

Стаття надійшла 26.11.2018.