

Копка Ігор Олександрович. – К.: 2016. – 105 с.

14. Войтенко, Ю.И., Бугаец В.П. Влияние алюминия на ударные свойства композитных кумулятивных струй [Текст] / Ю.И. Войтенко, В.П. Бугаец // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2016. – Вип. 30. – С. 36 – 48.

15. Гошовський, С.В. Геотермальні ресурси Землі - основа невичерпного енергетичного потенціалу України [Текст] / С.В. Гошовський, О.В.Зурян, П.Т. Сиротенко // Перспективи використання альтернативних і відновлювальних джерел енергії в Україні. (REU 2015) – Одеса. – 2015. – С. 58 - 73.

Стаття надійшла до редакції 05.09.2016 р.

УДК 622.235.535.2

А.О. Кузьменко, к. т. н., **О.М. Чала**, к. т. н., **Т.В. Хлевнюк**, к. т. н.,
Д.В. Хлевнюк, аспірант (ІГМ НАНУ)

ПРО СЕЙСМІЧНУ ДІЮ ВИБУХУ РОЗОСЕРЕДЖЕНОГО ЗАРЯДУ

A.A. Kuzmenko, O.M. Chala, T.V. Khlevniuk, D.V. Khlevniuk (Institute of Hydromechanics NANU)

SEISMIC ACTION OF EXPLOSION IS DISPERSED CHARGE

Проаналізовано фізичну суть процесів, що відбуваються при одночасному підриві розосереджених зарядів. Досліджений ефект направленості сейсмічної дії вибуху розосереджених зарядів відносно лінії розташування зарядів. Отримана узагальнена залежність швидкості зміщення ґрунту від параметрів вибуху і епіцентральної відстані. Показано на конкретних прикладах, що розосереджені заряди, що підриваються одночасно, є основним ланцюгом у системі кар'єрних масових вибухів при видобуванні корисних копалин.

Ключові слова: сейсмічні коливання; кількість зарядів; взаємодія зарядів; відстані між зарядами; коефіцієнти сейсмічності і затухання інтенсивності хвиль; одиничний заряд; зосереджений і розосереджений заряди; зсув фаз; ефективний заряд.

Проанализировано физическую суть процессов, происходящих при одновременном подрыве рассредоточенных зарядов. Исследован эффект направленности сейсмического воздействия взрыва рассредоточенных зарядов относительно линии расположения зарядов. Получена обобщенная зависимость скорости смещения грунта от параметров взрыва и эпицентрального расстояния. Показано на конкретных примерах, что рассредоточенные заряды, подрываемые одновременно, являются основным звеном в системе карьерных массовых взрывов при добыче полезных ископаемых.

Ключевые слова: сейсмические колебания; количество зарядов; взаимодействие зарядов; расстояния между зарядами; коэффициенты сейсмичности и затухания интенсивности волн; единичный заряд; сосредоточенный и рассредоточен заряды; сдвиг фаз; эффективный заряд.

Analysis of physical essence of the processes taking place at simultaneous undermining the distributed of charges. Investigated the effect directivity the seismic exposure to of the explosion

distributed of charges relative to the line of charges location. Received the generalized dependence of the ground displacement velocity of the explosion parameters and epicentral distance. It is shown by specific examples that are dispersed charges that undermine at the same time are the primary link in the system of career massive explosions in mining.

Keywords: seismic vibrations; the number of charges; the interaction of charges; the distance between the charges; coefficients of seismicity and attenuation intensity waves; a single charge; focused and is dispersed charges; phase shift; the effective charge.

Вступ. В теперішній час у виробничих умовах вибухові роботи (ВР), як правило, проводяться з використанням свердловинних зарядів, які за вимогами технологій і безпеки робіт об'єднуються в окремі групи. Останні ініціюються за певних схем коротко-сповільненого підривання (КСП).

Таким чином, при наявності широкого використання вибухів розосереджених зарядів то і сейсмічний ефект при їх підриві повинен розраховуватись по відповідних формулах, але до цих пір використовується формула М.О. Садовського зосередженого заряду:

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

де Q_c – загальна маса свердловинних зарядів, які входять в окрему групу.

Створене положення, можливо, пояснюється малочисельними дослідженнями сейсмічного ефекту розосередженого заряду [1, 2], відсутністю нормативної документації по цьому питанню.

Тут необхідно відмітити наступне, якщо при веденні ВР для визначення масової швидкості використовується сейсмометрична апаратура, то одержані дані по інтенсивності коливань від дії розосередженого заряду можливо використовувати у формулі (1) і на основі останньої розрахувати, наприклад, сейсмобезпечну відстань або допустиму масу заряду. При цьому коефіцієнти K і n будуть іншими ніж у формулі розосередженого заряду. Але це все при наявності вимірних даних параметрів сейсмовибухових хвиль (СВХ), наприклад, швидкості коливань ґрунту U см/с.

Якщо відсутні вимірні дані, а необхідно прогнозувати (проекувати) ВР на іншому горизонті, або навіть на новому родовищі, де невідомі коефіцієнти K і n то для визначення сейсмічного ефекту без допомоги властивостей розосередженого заряду не обійтись.

Розосереджені заряди ефективно використовуються при проходці траншей у гірничій справі, утворенні екранів і щілин біля охоронних об'єктів. Тільки цей спосіб ведення ВР дозволяє визначити сейсмічний ефект при переході ведення ВР з одного діаметру заряду на інший, а також визначити фактично здетоновану кількість зарядів в одній групі, яка може відрізнитись від розрахованої у проекті буровибухових робіт (БВР).

Мета роботи. Дослідження особливостей сейсмічної дії вибуху розосередженого заряду і обґрунтування використання узагальнюючої залежності інтенсивності СВХ від параметрів вибуху.

Викладення матеріалу досліджень. Для вивчення сейсмічного ефекту вибуху розосередженого заряду були проведені спеціальні експериментальні

дослідження з використанням сейсмометричної апаратури для вимірів параметрів сейсмовибухових хвиль (СВХ), результати яких лягли в основу визначення поняття ефективного заряду Q_{ef} , що характеризує кожний окремий заряд Q_1 виходом енергії в загальний хвильовий процес при підриві ряду розосереджених зарядів [3].

З самого початку досліджень було відмічено, що якщо відстані між зарядами достатньо великі, то кожний вибух заряду випромінює сейсмічні хвилі як окремий, незалежний від інших вибухів. При зменшенні відстані між зарядами необхідно враховувати взаємодію окремих зарядів в процесі формування сейсмічних хвиль. При близькому розміщенні зарядів в ряду взаємодія вибухових хвиль веде до руйнування ґрунту і, отже, до додаткових втрат енергії вибуху.

На основі досліджень можливо стверджувати, що втрата енергії вибуху на руйнівну взаємодію зарядів відбувається у ближній зоні дії вибуху, у зоні необоротних деформацій ґрунтів [4], границя якої знаходиться на відстані r_n від епіцентру вибуху, далі ($r > r_n$) зона необоротних деформацій ґрунтів переходить в зону пружних деформацій (коливаний), де взаємодія між сусідніми зарядами відсутня. Тому можна припустити, що оптимальною відстанню між зарядами у групі (a, m), де відсутня взаємодія між ними і інтенсивність сейсмічних коливань буде максимальною, є відстань не менше двох радіусів зони необоротних деформацій ґрунтів, або іншими словами зони непружних коливань ґрунту ($2r_n$).

Границю між непружною і пружною зонами коливань ґрунту можна прослідити по амплітудних графіках (залежностях масової швидкості від відстані). Зменшення амплітуд в поздовжній хвилі відбувається по степеневій залежності з $r^{-3} \dots r^{-4}$ на $r^{-1} \dots r^{-2}$. У поздовжній хвилі P ця границя визначається також по зміні періоду коливань з відстанню. На цій же границі зароджується поверхнева хвиля R [4].

По амплітудним графікам була визначена границя між непружною і пружною зонами $r_n = K_0 Q_1^{1/3}$ для різних ґрунтів (табл. 1). В цій же таблиці приведені значення швидкості зміщення часток ґрунту на границі зони U_P^z , швидкість поздовжніх хвиль V_P і щільність порід ρ . По них був вирахований тиск на розрив σ_P . Відносні деформації, вираховані по співвідношенню $\varepsilon = U_P^z / V_P$, одержані близькими до критичних $\varepsilon = 10^{-5}$.

Таблиця 1

Характеристика ґрунту на границі непружної і пружної зон вибуху

Порода	$K_0 = \frac{r_n}{Q_1^{1/3}}$ м/кг ^{1/3}	U_P^z см/с	V_P м/с	ρ , г/см ³	σ_P , кг/см ²	$10^5 \varepsilon$
Лесовидний суглинок	2,5	6,5	400-800	1,6	0,40-0,85	0,8-1,6

Порода	$K_0 = \frac{r_n}{Q_1^{1/3}}$ м/кг ^{1/3}	U_p^z см/с	V_p м/с	ρ , г/см ³	σ_p , кг/см ²	$10^5 \varepsilon$
Глина (водонасичена)	7-8	8,0	700-1800	2,0	1,2-2,9	0,5-1,2
Граніт (тріщинуватий)	4,5	18	4300-5400	2,7	21-26	0,3-0,4
Вапняк	3	40	5200	2,7	57	0,8

З метою вивчення сейсмічного ефекту вибуху розосереджених зарядів були проведені спеціальні експериментальні дослідження з використанням сейсмометричної апаратури для вимірів параметрів СВХ, результати яких лягли в основу визначення ефективного заряду $Q_{\text{еф}}$, що характеризує кожний окремий заряд Q_1 виходом енергії в загальний хвильовий процес при вибуху ряду розосереджених зарядів [5]. Найбільше значення $Q_{\text{еф}}$ буде в тому випадку, коли заряди у ряду не взаємодіють між собою. Це виникає, якщо не поєднуються їх непружні зони коливань ґрунту, тобто на відстані між зарядами $a = 2r_n$ (r_n – зона непружних коливань ґрунту). При цій умові $Q_{\text{еф}} = Q_1$. При зближенні зарядів значення $Q_{\text{еф}}$ зменшується і при $a = 0$ окремі заряди змикаються в один зосереджений заряд $Q = N \times Q_1$ (N – число зарядів у ряду).

Ефективна маса (кг) одного окремого заряду у ряду розосереджених визначається по формулі:

$$Q_{\text{еф}} = Q_1 \left[\left(1 - \frac{1}{N_{\text{еф}}^b} \right) \cdot C + \frac{1}{N_{\text{еф}}^b} \right], \quad (2)$$

де Q_1 – фактична маса окремого заряду у ряду розосереджених зарядів, кг; $N_{\text{еф}}$ – кількість окремих зарядів, хвилі яких приймають участь у взаємодії зарядів; b – показник, що залежить від властивостей ґрунту через коефіцієнт затухання сейсмічної хвилі ($b = \frac{3}{n} - 1$); C – відносна відстань між окремими зарядами ($C = \frac{a}{2r_n}$).

Основні параметри вибухової речовини при підриві розосередженого заряду визначаються наступними формулами.

Швидкість зміщення часток ґрунту (см/с) :

$$U^{z,x} = K_c \cdot N_{\text{еф}}^{n/3} \cdot \left(\frac{r}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^{-n}, \quad (3)$$

або

$$U^{z,x} = K_c \cdot \left(\frac{r}{Q_{\text{еф}}^{1/3} \cdot N_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^{-n}, \quad (4)$$

де K_c – коефіцієнт сейсмічності; $N_{\text{еф}}$ – кількість окремих розосереджених зарядів, які беруть участь у суперпозиції хвильових коливань; r – відстань від заряду по профілю поперек лінії розосереджених зарядів до точки спостереження, м.

Сейсдобезпечна відстань до охоронного об'єкту (м):

$$r_c = \left(\frac{K_c \cdot N_{\text{еф}}^{n/3}}{U_{\text{доп}}} \right)^{1/n} \cdot Q_{\text{еф}}^{1/3}, \quad (5)$$

де $U_{\text{доп}}$ – допустима швидкість зміщення ґрунту в основі охоронного об'єкту (см/с).

Сейсмобезпечна кількість окремих розосереджених зарядів:

$$N_{\text{еф}} = \left(\frac{U_{\text{доп}}}{K_c} \right)^{3/n} \cdot \left(\frac{r}{Q_{\text{доп}}^{1/3}} \right)^3. \quad (6)$$

Сейсмічний ефект розосередженого заряду, що характеризується більшою інтенсивністю коливань ґрунту в порівнянні з підривом зосередженого заряду рівної загальної маси вибухової речовини, пояснюється наступними основними причинами.

По-перше, з теорії і практики підричних робіт відомо, що більше енергії в навколишнє середовище від вибуху заряду вибухової речовини переходить при більшій площі поверхні зіткнення заряду з породним масивом.

Розглянемо це явище на простому прикладі при підриві свердловинного заряду діаметром 250 мм, довжиною 7,0 м з масою заряду вибухової речовини 500 кг і 5-ти розосереджених свердловинних зарядів діаметром 130 мм, довжиною 6,1 м і масою вибухової речовини 100 кг кожний. Поверхня зіткнення зосередженого заряду з породним масивом – 5,6 м², а 5-ти розосереджених зарядів – 12,7 м², тому і інтенсивність сейсмічних хвиль при підриві розосереджених зарядів буде більшою в порівнянні із зосередженим.

По-друге, у відповідності із законом динамічної подібності для пружних сил наведений вище приклад з порівнянням сейсмічної дії зосередженого і розосередженого зарядів можна записати у вигляді наступної нерівності:

$$\sum_{i=1}^{N=5} Q_1^{1/3} > Q_3^{1/3}, \quad (7)$$

де N – кількість окремих розосереджених зарядів ($N=5$); Q_1 – маса окремого із числа розосереджених зарядів ($Q_1=100$ кг); Q_3 – маса зосередженого заряду ($Q_3=500$ кг).

Нерівність (7) також підтверджує сейсмічний ефект розосередженого заряду.

Результативні коливання, що виникають при підриві системи розосереджених зарядів, залежать від точки спостереження (ближня чи дальня зони вибуху), відстані між окремими зарядами, типу сейсмічної хвилі, властивостей ґрунтового масиву, інтервалу сповільнення. Останнє, в основному, відноситься до КСП окремих груп зарядів.

У загальному вигляді результативне коливання $x(t)$, що виникає при вибуху системи розосереджених зарядів, записується як:

$$x(t) = \sum_{i=1}^N A_i X_1(t - \Delta t_i + \varphi_i), \quad (8)$$

де A_i – амплітуда імпульсу $x_1(t)$ від i -го заряду чи групи зарядів; N – кількість одиночних зарядів чи груп зарядів; Δt_i – часовий зсув для i -тої хвилі; φ_i – фаза.

Максимальна сумарна амплітуда швидкості зміщення знаходиться в межах першого напівперіоду хвилі від ближнього свердловинного заряду, тобто

в межах відрізка часу $1/2 T$ (T – період коливання хвилі, що розглядається). У розрахунок приймаються тільки хвилі від вибухів свердловинних зарядів, зсув фаз яких не перевищують 90° . Ці умови є методом визначення кількості розосереджених зарядів, які утворюють сумарне хвильове поле шляхом інтерференції хвиль, що виникають при вибухах окремих зарядів. Інструментом для вказаного визначення кількості ефективних зарядів, які можуть приймати участь у суперпозиції хвиль при миттєвому підриванні, може бути формула для зсуву фаз у ближній зоні:

$$\varphi = \frac{360^\circ \cdot a}{D \cdot T} \pm \frac{360^\circ (r_{i+1} - r_i)}{V \cdot T} \leq 90^\circ. \quad (9)$$

Формула (9) є підтвердженням того, що сумарне хвильове поле утворюється шляхом інтерференції хвиль, які утворюються при вибухах окремих свердловинних зарядів. При цьому в кожний момент часу в амплітуду коливань вносить вклад не весь ряд розосереджених зарядів, а обмежене число одиночних зарядів, хвилі від яких приходять одночасно чи зі зсувом $\Delta t < \tau_t$ (τ_t – фаза стиснення сейсмічної хвилі).

Експериментальні дослідження особливостей сейсмічного ефекту (м'які ґрунти). Порівнянність розрахункових і фактичних результатів вибухів розосереджених зарядів можливо в повній мірі оцінити тільки після аналізу даних експериментальних досліджень. Для вирішення цієї задачі був використаний метод натурного моделювання. При цьому породний масив розглядається як однорідне ізотропне пружне середовище. Досліди проводились у м'яких ґрунтах.

У суглинистих ґрунтах проведено декілька серій вибухів вертикальних циліндричних зарядів, характеристики яких приведені в табл. 2.

Таблиця 2

Характеристика підривних робіт

№ вибуху	Кількість зарядів, N	Довжина заряду, l , м	Маса одного заряду, Q_1 , кг	Відстань між зарядами, a , м	Загальна маса зарядів, Q_3 , кг	Розташування сейсмодимірювального профілю відносно лінії зарядів
1	4	6	3	4,0	12	поперек лінії
2	4	6	3	4,0	12	уздовж лінії
3	1	3	12	–	12	–
4	1	6	3	–	3	–

Всі заряди розташовані на рівній приведеній глибині ($2,8 \text{ м/кг}^{1/3}$). Як видно із табл. 2, вибухи №1 і 2 – розосереджені, а № 3 і 4 – вибухи одиночних зарядів. Ініціювання зарядів проводилось електродетонаторами миттєвої дії, таким чином вибухи розосереджених зарядів в одному ряду проходили одночасно.

На рис. 1 представлені залежності швидкості зміщення ґрунту від відстані в повздовжній хвилі P у наступній послідовності: при вибухах розосереджених зарядів (4 зарядів в ряду) по профілю поперек лінії зарядів – позиція 1; при вибухах розосереджених зарядів (4 зарядів в ряду) по профілю уздовж лінії

зарядів – позиція 2; при вибухах одиночних зарядів – позиції 3 і 4. На рис. 1 номери позицій залежностей співпадають з номерами вибухів у табл. 2.

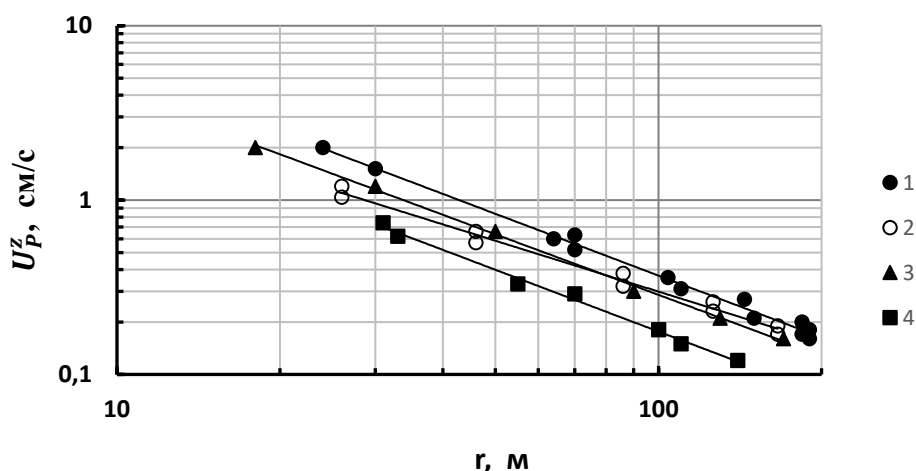


Рис. 1. Залежність швидкості зміщення ґрунту від відстані у поздовжній хвилі:

1 – профіль поперек лінії зарядів; 2 – профіль уздовж лінії зарядів; 3 – одиночний заряд масою вибухової речовини – 12 кг; 4 – одиночний заряд масою вибухової речовини – 3 кг.

При вибуху №4 (одиночний заряд з масою вибухової речовини 3 кг) залежності швидкості зміщення ґрунту від відстані і приведеної відстані можуть бути представлені наступними степеневими регресіями відповідно:

$$U_P^z = K_1 \cdot r^{-n} \quad (10)$$

і

$$U_P^z = K_2 \cdot \left(\frac{r}{Q_1^{1/3}} \right)^{-n}, \quad (11)$$

де K_1 і K_2 – коефіцієнти пропорційності, одержані при опрацюванні експериментальних даних і рівняються відповідно 3190 і 1205; n – показник затухання СВХ, одержаний із експериментальних даних ($n = 2,67$); R – коефіцієнт кореляції ($R = -0,989$).

Аналогічна розшифровка степеневих регресій вибуху №3 (одиночний заряд з масою вибухової 12 кг):

$$U_P^z = K_1 \cdot r^{-n} \quad (12)$$

і

$$U_P^z = K_2 \cdot \left(\frac{r}{Q_1^{1/3}} \right)^{-n}, \quad (13)$$

де K_1 і K_2 – відповідно рівняються 8823 і 1010; $n = 2,63$; $R = -0,998$.

Визначаємо ефективну масу одиночного заряду при вибухах № 1 і 2:

$$Q_{\text{еф}} = Q_1 \left[\left(1 - \frac{1}{N^b} \right) \cdot C + \frac{1}{N^b} \right] = 2,58 \text{ кг}, \quad (14)$$

де Q_1 – маса одиночного заряду ($Q_1=3$ кг); $N=4$, так як всі заряди взаємодіють між собою ($2r_n = 23$ м, а довжина ряду чотирьох розосереджених зарядів $l=12$ м); $b=0,13$; $C=0,17$.

Сейсмічні хвилі від всіх чотирьох зарядів по принципу суперпозиції лінійно складаються на поперечному профілі (найближча точка спостереження $r_1 = 2l$).

Залежність швидкості зміщення ґрунту від відстані для вибухів зарядів ряду №1 може бути записана наступною степеневою регресією:

$$U_P^Z = K_1 \cdot r^{-n}, \quad (15)$$

коефіцієнти якої K_1 і n на основі експериментальних даних відповідно будуть $18,4 \cdot 10^3$ і $2,64$.

Залежність швидкості зміщення ґрунту від приведеної відстані до ефективної маси зарядів для вибухів зарядів №1 може бути записано у вигляді двох варіантів:

$$U_P^Z = K_2 \cdot \left(\frac{r}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^{-n}, \quad (16)$$

де $K_2 = K_C \cdot N^{n/3}$ (K_C – коефіцієнт сейсмічності),
і

$$U_P^Z = K_C \cdot \left(\frac{r}{Q_{\text{еф}}^{1/3} \cdot N^{1/3}} \right)^{-n}. \quad (17)$$

Використовуючи співвідношення $K_2/K_1 = (Q_{\text{еф}}^{1/3})^{-n}$, визначаємо $K_2=8014$, і $K_C=2370$.

Як відмічалось вище, лінійно-розосереджені заряди володіють направленістю випромінювання СВХ з максимальним ефектом поперек лінії зарядів в порівнянні з випромінюванням уздовж лінії зарядів. Даний ефект спостерігається і при цих дослідженнях вибухів розосереджених зарядів №1, коли сейсмоприймачі розташовувались на поперечному профілі (позиція 1 на рис. 1), і зарядів № 2 на профілі уздовж лінії зарядів (позиція 2 на рис. 1). Із рис. 1 видно, що інтенсивність коливань хвилі P на профілі уздовж лінії зарядів значно менша, ніж на профілі поперек лінії зарядів у точках спостереження, що розташовані ближче до зарядів.

Проаналізуємо ситуацію і вияснимо причини ефекту асиметрії. Заряди у ряду детонують одночасно і на профілі поперек лінії зарядів, як уже відмічалось вище, імпульси складаються лінійно у точках профілю. Аналізуючи ситуацію зі складанням хвильових коливань по профілю уздовж лінії зарядів, приходимо до висновку, що зменшення інтенсивності коливань в початкових точках спостереження на профілі уздовж лінії зарядів в порівнянні з поперечним профілем пов'язано з запізненням приходу коливань від наступних вибухів зарядів по причині наявності відстаней між ними в ряду і мінімальної швидкості розповсюдження хвилі у ближній зоні вибуху. Останнє спостерігається у ближній зоні вибуху, у зоні малих швидкостей (ЗМШ), де зазвичай розповсюджується пряма хвиля, а потім, починаючи з далеких

відстаней, куди приходить переломлена хвиля зі збільшеною швидкістю розповсюдження, ситуація вирівнюється.

Перевіримо можливість складання імпульсів від окремих зарядів з допомогою формули (9) і визначимо кількість зарядів, які приймають участь у складанні імпульсів у спостережних точках профілю уздовж лінії зарядів по формулі (16), переформатувавши її до виду:

$$N_{\text{еф}} = \left(\frac{U_P^Z}{K_C} \right)^{3/n} \cdot \left(\frac{r}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^3, \quad (18)$$

де U_P^Z – швидкість зміщення ґрунту у точці спостереження (см/с).

Результати визначення ефективної кількості розосереджених зарядів, імпульси від вибухів яких у поздовжній хвилі P складуються в спостережних точках на профілі уздовж лінії зарядів, розраховані двома способами (по формулі (9) і по формулі (18)), приведені в табл. 3.

Таблиця 3

Кількість зарядів, які беруть участь в складанні хвильових коливань по профілю уздовж лінії зарядів

Відстань до точки спостереження від першого заряду на профілі уздовж лінії зарядів, м			26	46	86	126	166	
Розраховано по формулі (9)	зсув фаз	φ^0	17; 63	11; 40; 81	7; 35; 76	6; 30; 67	5–57	
	кількість ефективних зарядів	$N_{\text{еф}}$	2	3	3	3	4	
Кількість ефективних зарядів розрахованих по формулі (18)			$N_{\text{еф}}$	2	3	3	3	4

Швидкості зміщення ґрунту (U_P^Z , см/с), розраховані по формулі (16) з допомогою кількості ефективних зарядів із таблиці 3, співпадають з залежністю швидкості зміщення від відстані на рисунку 1 (позиція 2), одержаної експериментальним шляхом, що підтверджує правомірність вибраної нами методики по розрахунку інтенсивності коливань ґрунту на профілі уздовж лінії розосереджених зарядів.

Таким чином, відстані між розосередженими зарядами і швидкість розповсюдження сейсмічної хвилі формують зсув фаз поздовжніх хвиль, які приходять в будь-яку точку профілю, що направлений уздовж лінії зарядів, а це все у кінцевому результаті визначає кількість ефективних зарядів, хвилі яких приймають участь у складанні коливань. Так на відстані 26 м від першого із ряду розосереджених зарядів у суперпозиції хвиль приймає участь тільки 2 заряди із чотирьох підірваних, у діапазоні відстаней 46-126 м – 3 заряди і тільки на відстані 166 м всі 4 заряди приймають участь у коливальному процесі. Ця відстань складає близько $14l$ (l – довжина лінії розосереджених зарядів).

Аналогічно проаналізуємо зміну швидкості зміщення ґрунту у поверхневій хвилі R з відстанню на профілях поперек і уздовж лінії розосереджених зарядів. Результати визначення ефективної кількості розосереджених зарядів, імпульси від вибухів яких у поверхневій хвилі R

складуються у точках спостереження на профілі уздовж лінії зарядів, розраховані двома способами (по формулі (9) і по формулі (18)), приведені у табл. 4.

Таблиця 4

Кількість зарядів, які беруть участь у складанні коливаний поверхневої хвилі по профілю уздовж лінії зарядів

Відстань до точки спостереження від першого заряду на профілі уздовж лінії зарядів, м			12,4	26	46	86	126	166
Розраховано по формулі (9)	зсув фаз	φ^0	105	67	52	43; 87	41; 81	10; 39; 79
	кількість ефективних зарядів	$N_{\text{еф}}$	–	1	1	2	2	3
Кількість ефективних зарядів, які розраховані по формулі (18)		$N_{\text{еф}}$	0,7	1,1	1,4	2,1	2,35	3

Таким чином, відстань між розосередженими зарядами і швидкість розповсюдження поверхневої хвилі обумовлюють, що в суперпозиції хвиль на профілі уздовж лінії зарядів у діапазоні відстаней 26-46 м приймає участь тільки один заряд із чотирьох підірваних, у діапазоні 86-126 м – 2 заряди, 166 м – 3 заряди і тільки за даними графоаналітичного розрахунку на відстані 340 м всі 4 заряди приймають участь у коливальному процесі. Ця відстань складає близько $30l$ (l – довжина лінії розосередження зарядів, що рівна 12 м).

У ближній зоні вибуху на відстані $2l$ від першого заряду по профілю уздовж лінії зарядів швидкість зміщення ґрунту у 1,6 рази менша ніж по поперечному профілю на цій же відстані $2l$ як у поздовжній, так і у поверхневій хвилях. Зі збільшенням відстані від місця вибухів цей ефект поступово зменшується і на відстанях біля $15l$ для поздовжньої хвилі і $30l$ для поверхневої хвилі він повністю зникає, тобто відбувається складання хвильових коливань ґрунту від усіх чотирьох зарядів на обох профілях.

Наступною особливістю вибуху розосереджених зарядів є перебільшення інтенсивності коливань ґрунту на профілі поперек лінії зарядів у порівнянні з вибухом зосередженого заряду рівного загальній масі розосереджених зарядів. Як видно із наведених результатів досліджень (рис. 1) вказане перевищення в об'ємній хвилі складає 60-70 %, а у поверхневій 20-25 %.

Висновки

1. Проаналізовано фізичну суть особливостей сейсмічної дії на ґрунтовий масив вибуху лінійного розосередженого заряду з урахуванням кількості взаємодіючих зарядів, відстаней між ними і типу хвильових коливань.

2. Визначені розміри зони незворотних деформацій ґрунтів не по відстанях видимої тріщинуватості масиву ґрунтів, а на основі внутрішньоструктурних змін ґрунту через вивчення записів хвильових коливань ґрунту у ближній зоні вибуху, використання кількісних і конструктивних показників зарядів вибухової речовини.

3. Вивчені і узагальнені умови складання хвильових коливань на основі зсуву фаз хвиль, що прибувають у точку спостереження.

4. Досліджені причини і умови асиметрії сейсмічного ефекту вибуху розосередженого заряду у напрямку уздовж лінії зарядів і поперек її.

5. Показано на конкретних прикладах, що розосереджені заряди є основним ланцюгом у системі кар'єрних масових вибухів.

6. Отримана узагальнююча залежність швидкості зміщення ґрунту від параметрів вибуху розосередженого заряду і епіцентральної відстані на рівні інженерної формули.

Список використаних джерел

1. Рулев, Б.Г. О направленном сейсмическом действии рассредоточенных однорядных взрывов [Текст] / Б.Г. Рулев, Д.А. Харим // Взрывное дело: науч.-техн. сб. – М.: Недра, 1968. – Вып. 64/21. – С. 211-231.

2. Гольдин, С.В. Линейные преобразования сейсмических сигналов [Текст] / С. В. Гольдин. – М.: Недра, 1974. – 352 с.

3. Бойко, В.В. Проблеми сейсмічної безпеки вибухової справи у карерах України [Текст]: монографія / Бойко В.В. – К.:ТОВ «Видавництво Сталь», 2012.– 184 .

4. Кузьменко, А.А. Распространение сейсмозрывных волн в многослойном горном массиве [Текст] / А.А. Кузьменко, Т.В. Хлевнюк, О.Н. Чалая // Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво". – 2010. – Вип. 19. – С. 15–20.

5. Кузьменко, А.А. О количестве фактически взрывающихся зарядов в одной группе [Текст] / А.А. Кузьменко, О.Н. Чалая, Д.В. Хлевнюк // Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво". – 2014. – Вип. 26. – С. 38-46.

Стаття надійшла до редакції 13.09.2016 р.