

ГЕОТЕХНОЛОГІЯ

УДК 622.235.535.2

ПАРАМЕТРИ ПРУЖНИХ ХВИЛЬ ПРИ ВИБУХАХ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ЗАРЯДІВ

А.О. Кузьменко, канд. техн. наук (ІГМ НАН України)

Приведены результаты экспериментальных исследований интенсивности колебаний грунта при одновременном взрыве рассредоточенных зарядов и методика ее определения. Показана целесообразность расчета массовой скорости грунта с использованием эффективной массы одиночного заряда.

У виробничих умовах використовують, як правило, розосереджені заряди, підірвання яких виконують як одночасно, так і групами з визначеними інтервалами (короткословільнене підірвання), а параметри сейсмічних хвиль при цих вибухах розраховують за емпіричними формулами, одержаними для зосередженого заряду. Так, наприклад, швидкість зміщення ґрунту – основний критерій сейсмонебезпечності – розраховується за формулою

$$U = K(r/Q^{1/3})^{-n}, \quad (1)$$

де Q – загальна маса розосередженого заряду.

Однак уже при початковому порівнянні інтенсивності коливань ґрунту при вибухах розосереджених і зосереджених зарядів однакової маси було відзначено, що в першому випадку цей показник був вищим, ніж у другому. Аналогічні твердження мають місце також у інших, поки що нечисленних дослідників [1].

Для зручності викладу матеріалу назовемо це явище ефектом розосереджених зарядів. Тут, як і в подальшому, мається на увазі одночасне підірвання розосереджених зарядів з допомогою детонувального шнура, який прокладається вздовж лінії свердловин, тому що час проходження детонаційної хвилі по шнурі між свердловинами в скельних ґрунтах у 3–4 рази менший від часу поширення поверхневої хвилі, а в м'яких ґрунтах цей показник збільшується у 4–5 разів. Це відбувається, якщо говорити про перші два заряди, але ж перший заряд взаємодіє і з n -м зарядом.

Для вивчення сейсмічного ефекту вибухів розосереджених зарядів було виконано експериментальні дослідження, проаналізовано результати деяких вибухів розосереджених зарядів, проведених раніше, в тому числі і на кар'єрах, що частково відображено в таблиці і на рис. 1–3. Результати подано для поверхневої хвилі по горизонтальній складовій коливань X за винятком вибухів

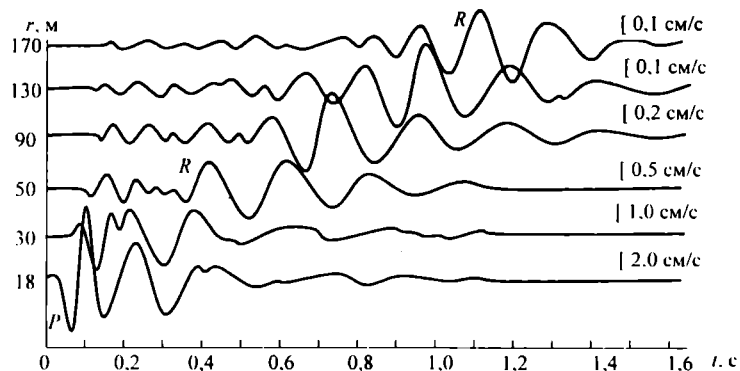
у глинистих ґрунтах (див. таблицю, поз. 1–5), де масова швидкість ґрунту вимірювалась по вертикальній складовій Z . Масова швидкість вимірювалась у тих ґрунтах, в яких підірвалися заряди. Вимірювання проводились з використанням стандартної сейсмометричної апаратури за методикою, узгодженою з метрологічною службою НАН України.

Характеристика зарядів і результати їх вибухів

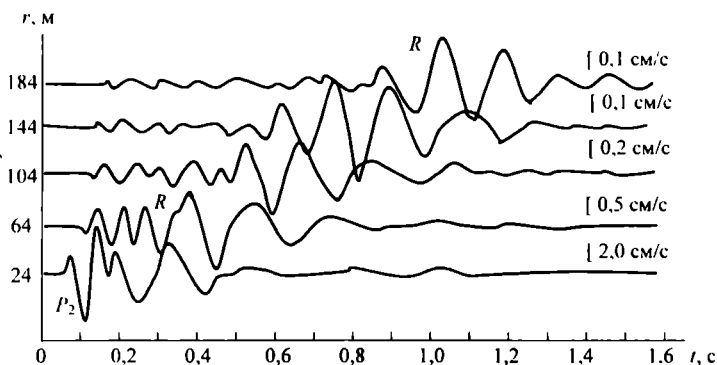
Ґрунт, площадка	Позиція	Маса одиночного заряду Q_1 , кг	Кількість зарядів n	Відстань між зарядами a , м	Відносна відстань між зарядами s	Відстань до заряду r , м	Коефіцієнти в формулі (1)		Факт. швидкість зміщення U_1 , см/с	Швидкість зміщення U_2 , розрахована за формулою (1), см/с	Ефект розосередженого заряду, U_1/U_2
							k	n			
Глина, полігон шахти "Рокої" (РП)	1	3	1	-	-	50	30	1,2	0,42	-	-
	2	3	2	1,0	0,043	50	30	1,2	0,58	0,56	1,04
	3	3	4	4,0	0,17	50	30	1,2	1,02	0,73	1,4
	4	3	8	0,7	0,03	50	30	1,2	1,19	0,97	1,23
	5	12	1	-	-	50	30	1,2	0,73	-	-
Суглинок, полігон НАН України	6	0,9	15	1,5	0,065	50	68	1,4	1,45	0,96	1,5
	7	14	1	-	-	50	68	1,4	0,96	-	-
	8	0,9	7	1,5	0,065	50	68	1,4	0,83	0,67	1,24
	9	6	1	-	-	50	68	1,4	0,67	-	-
	10	0,9	1	-	-	50	68	1,4	0,27	-	-
Базальт. Берестовецьке родовище	11	68	19	3,3	0,069	300	157	1,69	0,76	0,57	1,33
	12	80	8	3,3	0,064	300	160	1,69	0,45	0,40	1,12
	13	46	3	3,3	0,077	300	148	1,69	0,16	0,15	1,07
Ґраніт. Вирівське родовище	14	365	6	5,6	0,061	300	175	1,61	1,23	1,07	1,15
	15	390	3	5,6	0,061	1000	175	1,61	0,12	0,11	1,05
Вапняк прибалтійський	16	147	2	7,1	0,089	600	130	1,49	0,17	0,16	1,06
	17	252	4	7,1	0,074	300	140	1,49	1,0	0,89	1,12
	18	250	8	7,1	0,074	300	140	1,49	1,56	1,24	1,26

Проаналізуємо одержані дані.

На рис. 1 подані осцилограми хвильових процесів вибухів зосередженого (а) і розосередженого (б) зарядів масою 12 кг у глинистих ґрунтах. Характеристику R цих зарядів наведено в таблиці (поз. 5 і 3 відповідно).



а



б

Рис. 1. Осцилограми хвильових процесів при вибухах зарядів масою 12 кг: а – зосереджений заряд; б – розосереджений заряд

На рис. 2 наведено залежності швидкості від відстані при вибухах зарядів різної маси в глинистих ґрунтах (поз. 1–5 на рис. 2 і в таблиці).

Як видно з рис. 1 і 2, при вибухах розосереджених зарядів (поз. 3 в таблиці) швидкість зміщення ґрунту в 1,4 рази більша, ніж при вибуху зосередженого заряду (поз. 5 в таблиці) такої ж маси. Коефіцієнт варіації

експериментальних даних змінюється від 6,7 до 11,7 %, а коефіцієнт кореляції залежностей – від $-0,992$ до $-0,997$.

Швидкість зміщення глинистого ґрунту при вибухах розосереджених зарядів (поз. 2–4) більша порівняно з вибухом одиночного заряду (поз. 1), але це збільшення не відповідає збільшенню приведеної маси заряду до відстані \bar{Q} . Наприклад, \bar{Q} вибуху ряду із восьми зарядів (поз. 4) більша \bar{Q} одиночного заряду (поз. 1) у 2 рази, а швидкість зміщення ґрунту більша в 3 рази. Це говорить про наявність ефекту складання хвиль від вибуху кожного окремого заряду в ряду з урахуванням умов взаємодії зарядів.

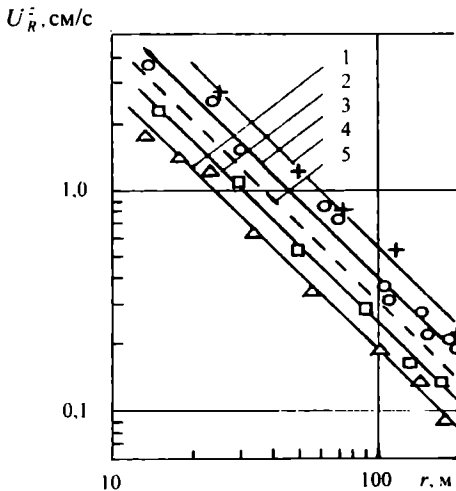


Рис. 2. Залежності швидкості зміщення глинистого ґрунту від відстані при вибухах:
 1 – одного заряду масою 3 кг;
 2 – 2-х зарядів масою 6 кг;
 3 – 4-х зарядів масою 12 кг;
 4 – 8-ми зарядів масою 24 кг;
 5 – одного заряду масою 12 кг

На рис. 3 наведено залежності швидкості зміщення ґрунту від відстані при вибухах розосереджених зарядів у суглинках (поз. 6, 8), базальті (поз. 11–13), граніті (поз. 14) і при вибухах зосереджених зарядів у суглинках (п. 7, 9, 10), а також залежності, розраховані за формулою (1) для вибухів зосереджених зарядів у базальті та граніті (пунктирні лінії). Аналіз рис. 3 і таблиці показує, що сейсмічний ефект вибуху розосередженого заряду у скельних ґрунтах менший, ніж у м'яких ґрунтах, хоч при деяких вибухах у скельних і м'яких ґрунтах такі характеристики розосереджених зарядів як кількість зарядів і відносна відстань між ними були майже однаковими.

Коефіцієнти варіації і кореляції експериментальних даних, наведених на рис. 3, мають такі значення: для суглинку – $K_{\text{вар}} = 3,5\text{--}6,4\%$, $K_k = (-0,991)\text{--}(-0,993)$; для базальту – $K_{\text{вар}} = 5,9\text{--}10,8\%$, $K_k = (-0,991)\text{--}(-0,997)$; для граніту – $K_{\text{вар}} = 10,4\%$, $K_k = -0,986$.

Розглянемо взаємозв'язок між ефектом вибуху розосередженого заряду і відстанню між окремими зарядами в ряду.

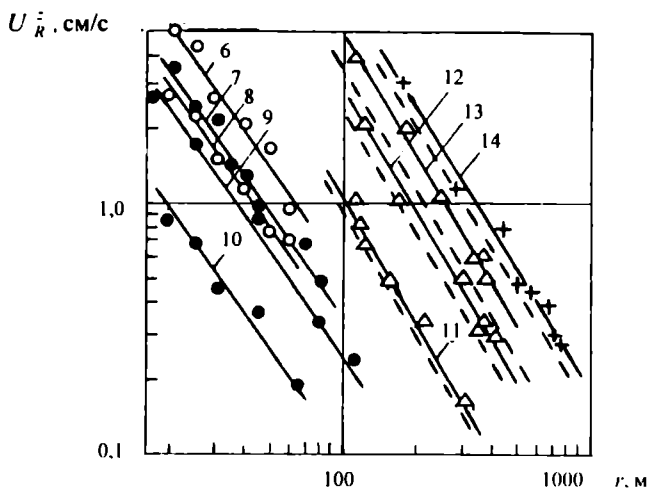


Рис. 3. Залежності швидкості зміщення ґрунту від відстані при вибухах розосереджених зарядів у різних ґрунтах: 6, 8 – у суглинку; 11–13 – у базальті; 14 – у граніті, а також зосереджених зарядів у суглинку; пунктирними лініями нанесені значення швидкості зміщення при вибуху зосередженого заряду в базальті і граніті, розраховані за формулою (1)

При зближенні зарядів сейсмічний ефект вибуху зменшується, тобто в цьому випадку заряди взаємодіють між собою, а це означає, що відбувається додаткове порушення ґрунту і, отже, має місце часткова втрата сейсмічної енергії. Тому кожний окремих заряд Q_1 по відношенню до виходу енергії у хвильовий процес може бути охарактеризований ефективним зарядом Q_{ef} . За результатами аналізу залежності інтенсивності коливань ґрунту від відстані між зарядами a були відмічені максимальні значення інтенсивності коливань при відстані $a = 2r_n$ (r_n – радіус зони непружних деформацій ґрунтів). Отже, найбільше значення Q_{ef} реєструватиметься в тому випадку, коли заряди в ряду не взаємодіють між собою, а це відбувається, коли осередки вибухів (зони непружних деформацій ґрунтів) не стикаються. При цій умові $Q_{\text{ef}}^{\text{max}} = Q_1$. При зближенні зарядів значення Q_{ef} зменшується і при $a = 0$ окремі заряди з'єднуються в один зосереджений заряд $Q = mQ_1$ (m – кількість зарядів в ряду).

Після аналізу даних можна зробити висновок, що найменший ефект вибуху розосередженого заряду спостерігається при підірванні 2–3 зарядів в ряду з невеликими відстанями між ними, а найбільший – при підірванні великої кількості зарядів в ряду (до 10) зі значними відстанями між зарядами (наближеними до r_n). Останнє особливо має відношення до вибухів у м'яких ґрунтах, коли загальний ефект може досягати 200–300 %.

Після аналізу і обробки експериментального матеріалу одержимо залежність $Q_{\text{сф}}$ від умов вибуху розосередженого заряду:

$$Q_{\text{сф}} = Q_1 \left[(1 - 1/m^v) c - 1/m^v \right], \quad (2)$$

де v – показник степеня ($v = 3/n - 1$); c – відносна відстань між зарядами ($c = a/2r_{11}$).

Згідно з результатами досліджень, осередок вибуху має різні розміри r_{11} при проходженні вертикальної Z і горизонтальної X складових хвилі і визначається залежністю $r_{11} = K_0 \sqrt[3]{Q_1}$, де K_0 для розгляданих ґрунтів по складових Z і X відповідно становитиме: для глинистих ґрунтів – 8 і 9; вапняку – 5,5 і 7,6; граніту – 4,5 і 6,5; базальту – 4 і 6.

Швидкість зміщення $U_{P,R}^{X,Z}$ ґрунту при одночасному підриванні ряду розосереджених зарядів обчислюється за формулою

$$U_{P,R}^{X,Z} = Km \left(r / Q_{\text{сф}}^{1/3} \right)^n. \quad (3)$$

Коефіцієнт K , що входить у формулу (3), складається з двох частин: K_1 враховує властивості ґрунту, а K_2 – конструкцію свердловинного (шпурового) заряду. Величина K_1 пов'язана з розміром осередку вибуху (зоною залишкових деформацій ґрунтів) і визначається для поверхневої хвилі по складовій X :

$$K_1 = \frac{K_0}{0,05(0,4K_0 - 1)}. \quad (4)$$

Коефіцієнт K_2 для циліндричного заряду (горизонтальна складова поверхневої хвилі) визначається за формулою

$$K_2 = l^{0,05} Q_n^{0,1}, \quad (5)$$

де l – довжина заряду, м; Q_n – лінійна маса заряду, кг/м. Для зосередженого заряду K_2 є функцією від глибини закладання заряду.

Між показником затухання поверхневої хвилі з відстанню n по X -складовій і швидкістю поширення поздовжньої хвилі V_p в зоні малих швидкостей існує лінійна залежність

$$n = 1,3(0,1V_p + 1). \quad (6)$$

При розрахунку масової швидкості за формулою (3) приймається та кількість зарядів m , хвилі яких приходять у точку спостереження зі зсувом фаз відносно ближнього заряду, не більшим за 90° . Іншими словами, якщо в точці спостереження різниця в часі приходу хвилі від наступного і попереднього зарядів більша від t_n (часу наростання амплітуди до максимуму у хвилі P) або $1/4T_R$ (T_R – період коливань у хвилі R), то цей (наступний) заряд не

враховується у формулі (3). Що стосується поверхневої хвилі, дія якої проявляється в далекій зоні, то практично завжди, коли половина довжини розосередженого заряду не перевищує зони дії осередку вибуху, хвилі від усіх зарядів приходять у точку спостереження зі зсувом фаз між собою не більше 90° і складаються.

Масові швидкості ґрунту при вибухах розосереджених зарядів, розраховані за формулою (3), задовільно відображають коливальний процес, а масові швидкості, розраховані за цією формулою для розглянутих вибухів, практично збігаються зі значеннями залежностей і даними, поданими в таблиці і на рис. 2 і 3.

В діях об'ємних хвиль ефект розосередженого заряду проявляється незначно, тому в цій праці ці хвилі не розглядаються.

Перехід від визначення інтенсивності сейсмовибухової дії на об'єкти, що охороняються, методом загальної маси розосереджених зарядів до методу кількості взаємодіючих зарядів, що підриваються одночасно, дозволить точніше прогнозувати безпеку підривних робіт. Запропонований метод є особливо ефективним при підриванні ряду зарядів під час проходки траншей, при утворенні вибухом різноманітних екранів і щілин біля об'єктів, що охороняються, при визначенні сейсмічного ефекту вибуху горизонтального неперервного продовженого заряду з додатковими бойовиками по його довжині. Тільки розглядаючи метод дозволяє визначити сейсмічний ефект при переході ведення підривних робіт з одного діаметра свердловини на інший.

1. Рулев Б.Г., Харин Д.А. // Взрывное дело. – Недра, 1968. – № 64/21. – С. 221–231

УДК 622.235

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ДЕТОНАЦИИ ЛИНЕЙНОГО ИНИЦИАТОРА НА ОБЪЕМ ВОРОНКИ ДРОБЛЕНИЯ

А.А. Фролов, канд. техн. наук (НТУУ "КПИ", ІЗЭ)

Розглянуто метод числового розрахунку форми та об'єму воронки дроблення, яка утворюється в результаті вибуху подовженого циліндричного заряду при його верхньому лінійному ініціюванні. Теоретично встановлено вплив швидкості детонації свердловинного заряду на об'єм воронки дроблення.

При рассмотрении действия взрыва скважинного заряда в массиве горных пород в качестве основной характеристики взрывчатого вещества (ВВ) принимается теплота взрыва. Предположим, что на разрушение горного массива может также влиять скорость детонации скважинного заряда. При этом