

## ЗАСТОСУВАННЯ ЧАСОВИХ ДІАГРАМ ПРИ ПРОВЕДЕННІ МАСОВИХ ВИБУХІВ НА КАР'ЄРІ ПІВДЕННОГО ГЗК

*Є.О. Несмашний, К.А. Федін, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна*

Наведені результати створення часових діаграм при проведенні масових вибухів колонкових зарядів на кар'єрі Південного ГЗК, застосування яких дозволяє унеможливити виникнення явища інтерференції сейсмічних хвиль біля цивільних об'єктів, що захищаються від їх дії.

**Постановка наукової задачі.** В «Єдиних правилах безпеки при вибухових роботах» [1] наведена методика розрахунку безпечних відстаней для захисту від дії сейсмічних хвиль, що виникають при масовому підриванні зосереджених свердловинних зарядів. Це питання особливо актуальне для кар'єра Південного ГЗК, бо у безпосередній близькості зі східним бортом кар'єру знаходиться масив одноповерхових житлових будинків, який потребує захисту від негативного впливу сейсмічних хвиль та виникнення явища їх інтерференції.

Для запобігання негативної дії масових вибухів в кар'єрі Південного ГЗК впроваджено масове застосування без тротилової вибухової речовини (україніт ПП-2Б, емоніт Н100), неелектричних систем ініціювання вибуху «Прима-Ера», яка дозволяє здійснювати коротко уповільнене підривання кожної окремої вибухової свердловини із застосуванням уповільнювачів номіналом 17, 25, 42, 67, 109, 167 мс, відповідно до гірничо-геологічних умов конкретних вибухових блоків.

Разом з тим до цього часу не вирішене питання визначення часу уповільнення між підривом окремих вибухових блоків, яких при проведенні масових вибухів на Криворізьких кар'єрах може бути більше десятка. За цих умов сейсмічні хвилі від окремих вибухових блоків, відстань між якими може досягати декількох кілометрів, можуть прийти до житлових будинків майже одночасно. У цьому випадку можливе виникнення явища їх інтерференції з непередбачуваними наслідками для об'єктів, що захищаються.

Розв'язанню цієї наукової задачі і присвячена дана наукова робота.

**Результати проведених експериментів.** Зважаючи на важливе соціальне значення сейсмічної безпеки масових вибухів на Криворізьких кар'єрах і у відповідності з рішенням Криворізької міської ради, усі вибухи повинні супроводжуватись моніторингом їх сейсмічного рівня. Такі роботи виконуються і на кар'єрі Південного ГЗК, при цьому визначення рівня сейсмічних коливань ґрунту проводиться за методом багатоканального вимірювання коливань, розробленому в Інституті фізики Землі ім. О.Ю.Шмідта [2].

Для запису інформації застосовувався електронний осцилограф TPS2014 фірми «Tektronix», що має можливість запам'ятовувати, в комплекті з магнітоелектричними гальванометрами, електродинамічними датчиками СВ-10Ц, СГ-10 та трьох компонентним п'єзоелектричним акселерометром АТП-1, які пройшли відповідну метрологічну атестацію у ДП «Кривбасметрологія».

При цьому у відповідності з національним стандартом України, модуль вектора максимальної швидкості коливань ґрунту  $V_{\max}$  визначався на основі трьох його проєкцій на координатні осі (горизонтальні  $V_x$  та  $V_y$  і вертикальна  $V_z$ ) з наступної формули [3]:

$$V_{\max} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \quad (1)$$

Виходячи з отриманого значення швидкості  $V_{\max}$  визначався рівень сейсмічних коливань у балах у відповідності з Міжнародною сейсмічною шкалою MSK-64 [3].

Під час проведення 26 грудня 2012 року в кар'єрі Південного ГЗК масового вибуху колонкових зарядів загальною масою 515,96 тонни, місце проведення інструментальних вимірювань рівня сейсмічних хвиль знаходилося біля одноповерхового житлового будинку, розташованого по вул. Володарського.

Всі технічні параметри вибуху, а саме: час початку підриву блоків  $t_p$ ; час кінця підриву блоків  $t_k$ ; тривалість підриву окремих блоків  $t_i$ ; час затримки підриву блоків  $T_i$ ; відстань до точки спостереження  $L$ ; проміжок часу за який сейсмічна хвиля від вибухового блоку доходить до точки спостереження  $\tau_i$ ; глибина горизонту  $H$ , наведені в табл. 1.

Копія отриманої осцилограми повздовжніх горизонтальних коливань ґрунту при проходженні сейсмічних хвиль біля будинку по вулиці Володарського під час виконання 26 грудня 2012 року масових вибухів в кар'єрі ПівдГЗК, приведена на рис. 1.

З цієї осцилограми видно, що максимальна швидкість сейсмічних коливань ґрунту під час масового вибуху приходилась на інтервал часу між 7 і 9 секундами після початку масового вибуху. Рівень сейсмічних хвиль у цей період суттєво перевищив показники, які були закладені в проект масового вибуху. Це сталося, на наш погляд, внаслідок виникнення явища інтерференції сейсмічних хвиль в районі розташування сейсмостанції, при підриванні блоків № 152 та № 153 (див. рис. 2), внаслідок невірного визначення часу затримки між підривом цих вибухових блоків.

Так на рис. 2-а наведена часова діаграма масового вибуху, що відбувся 26 грудня 2012 року в кар'єрі Південного ГЗК, яка передбачала деяку часову затримку між підривом окремих вибухових блоків. А на рис. 2-б наведена часова діаграма проходження сейсмічних хвиль через точку спостереження біля житлового будинку (вул. Володарського) під час цього масового вибуху, яка однозначно свідчить про наявність факту накладання сейсмічних хвиль створених вибуховими блоками № 152 та № 153 і невірно вибраного часу затримки між їх підривом.

Таблиця 1.

Технічні параметри масового вибуху 26 грудня 2012 року в кар'єрі Південного ГЗК

Параметри блоків	№ блоків					
	150	151	152	153	154	155
$t_p$ , мс	575	2575	3775	5575	7808	8575
$t_k$ , мс	2115	3675	5547	7683	7909	11347
$t_i$ , мс	1540	1100	1772	2108	101	2772
$T_i$ , мс		460	100	28	125	666
$\tau_i$ , мс	1140	1050	1200	960	1370	1940
$L$ , м	1485	1365	1555	1250	1780	2525
$Q$ , т	72,01	47,12	73,8	138,2	3,23	181,6
$q$ , т	1,3	0,83	0,8	0,8	0,89	0,9
$H$ , м	-285/-300	-240/-255	-210/-225	-120/-135	-90/-120	+15/±0

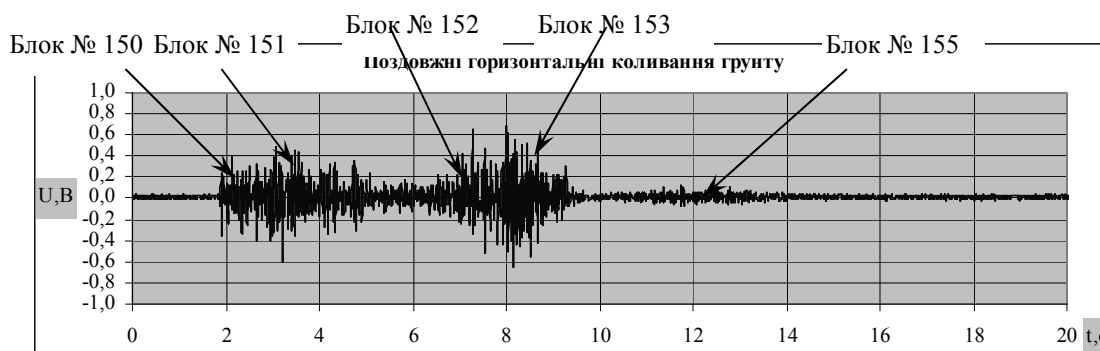
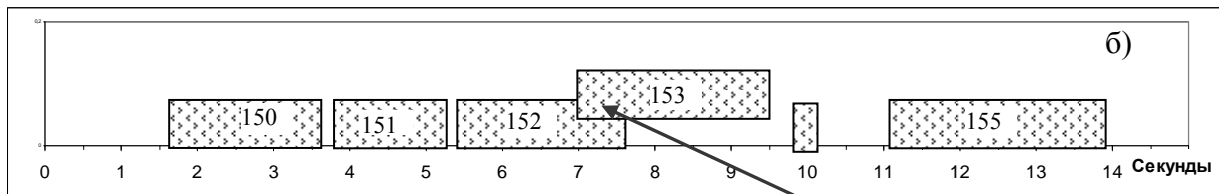
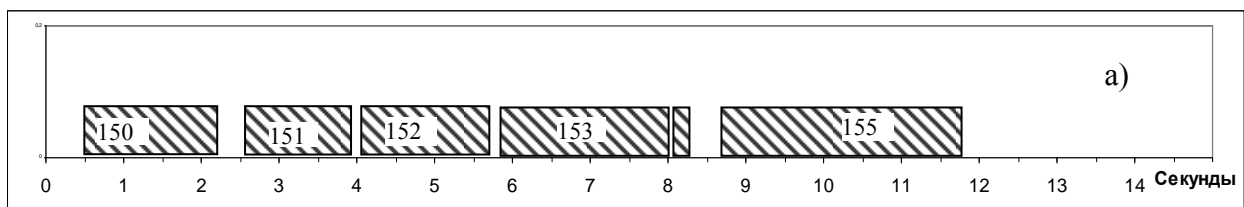



Рис. 1. Копія осцилограми сейсмічних хвиль біля житлового будинку під час виконання 26 грудня 2012 року масових вибухів в кар'єрі ВАТ «ПівдГЗК».



Зона інтерференції сейсмічних хвиль

де  - час підриву блоку;


 - час проходження сейсмічної хвилі через об'єкт, що захищається.

Рис. 2. Часові діаграми масового вибуху (а) та проходження сейсмічних хвиль (б) біля житлового будинку (вул. Володарського) під час масового вибуху в кар'єрі ВАТ «ПівдГЗК» 26 грудня 2012 року.

При створенні часових діаграм, що зображені на рис. 2, проміжок часу  $\tau$  за який сейсмічна хвиля доходить до точки спостереження від відповідного вибухового блоку визначалась з наступної формули:

$$\tau = \frac{\sqrt{H^2 + R^2}}{V}, \quad (2)$$

де  $H$  - глибина розташування блоку, м;  $R$  - відстань від точки спостереження до даного вибухового блоку по мапі кар'єру, м;  $V$  - швидкість сейсмічної хвилі, яка визначалась експериментально і для масиву гірських порід в районі східного борту кар'єра Південного ГЗК, приблизно дорівнювала 1300 м/с.

Експериментальне визначення швидкості поширення сейсмічних хвиль у Криворізькому регіоні визначалось за допомогою триангуляційного методу [4]. Отримані і приведені в у цій роботі данні про фактичні значення швидкості розповсюдження сейсмічних хвиль в скельних масивах Криворізьких кар'єрів виявилися суттєво (у 2 - 3 рази) нижче за данні приведені у відповідних довідниках. Це можливо пояснити тим, що скельні масиви біля кар'єрів представляють собою не суцільне тверде тіло, а масив суттєво порушений системою тріщин, розломів та поверхонь послаблень, до того ж ці масиви сильно обводнені.

**Методика побудови часової діаграми.** В наслідок того, що сейсмічні хвилі від окремих вибухових блоків на точку спостереження приходять майже одночасно, створюється некерована їх інтерференція, яка може бути причиною значного резонансного збільшення амплітуди сейсмічних коливань у точці знаходження житлової чи промислової будівлі і може привести, при окремих умовах, до її ушкодження або руйнування.

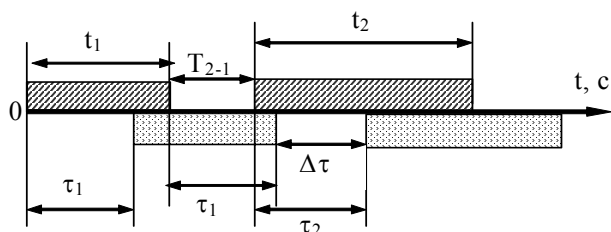
Для запобігання такого небажаного результату пропонується при проектуванні масових вибухів на кар'єрах застосовувати часову діаграму з метою унеможливити виникнення явища інтерференції сейсмічних хвиль біля житлових і промислових об'єктів, що захищаються.

Поставлена задача вирішується тим, що при проектуванні масових вибухів необхідно передбачувати наявність деякого проміжку часу ( $\Delta\tau$ ) між проходженням сейсмічних хвиль від окремих вибухових блоків через точку спостереження, яка знаходиться біля об'єктів, що захищаються. При цьому принципово може бути два випадки: блоки підриваються одночасно (див. рис. 3-б) та з деякою затримкою (див. рис. 3-а).

З часових діаграм, що приведені на рис. 3 видно, що для запобігання явища інтерференції сейсмічних хвиль в районі розташування об'єктів, які охороняються, необхідно при проекту-

ванні вибухових робіт на кар'єрах передбачувати наявність деякого проміжку часу ( $\Delta\tau$ ) між проходженням окремих сейсмічних хвиль через точку спостереження. При цьому ми враховували, що наявність декількох сейсмічних хвиль малої амплітуди значно краще для сейсмічної стійкості житлових будинків, ніж одна сейсмічна хвиля великої амплітуди.

а)



б)

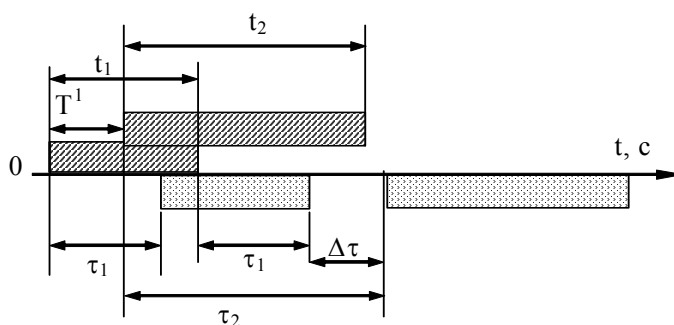


Рис. 3. Побудова часової діаграми масових вибухів.

де  $t_1$  ;  $t_2$  - час підриву відповідних вибухових блоків, який визначається за умови, що маса вибухівки, яка одночасно підривається не перевищує граничного рівня по умовах правил безпеки, с;  $T_{2-1}$  – час уповільнення підриву послідуєчого вибухового блоку після здійснення підриву попереднього, с;  $\tau_1$  ;  $\tau_2$  - проміжок часу за який сейсмічна хвиля доходить до точки спостереження після підриву відповідного вибухового блоку, с;  $\Delta\tau$  - проміжок часу між проходженням окремих сейсмічних хвиль через точку спостереження, с.

Поставлена мета, а саме унеможливлення виникнення явища інтерференції сейсмічних хвиль на точці спостереження, буде досягнута за умови  $\Delta\tau > 0$ . Для умов Криворізького басейну значення параметра  $\Delta\tau$  рекомендується приймати не менше 0,067 секунди.

Тоді, виходячи з гістограм приведених на рис. 3-а, час уповільнення  $T_{2-1}$ , що дорівнює інтервалу між початком підриву наступного вибухового блоку і кінцем підриву попереднього, повинен бути не менше величини, що обчислюється з виразу (3).

У випадку коли вибухові блоки підриваються одночасно або з часом затримки  $T^1$  (див. рис. 3-б), що дорівнює інтервалу між початком підриву попереднього вибухового блоку і початком підриву наступного, його величина повинна бути не менше величини, що обчислюється з виразу (4).

$$T_{2-1} \geq \tau_1 - \tau_2 + \Delta\tau, \quad (3)$$

$$T^1 \geq \tau_1 - \tau_2 + t_1 + \Delta\tau, \quad (4)$$

де  $t_1$  - час підриву попереднього вибухового блоку, за умови, що маса вибухової речовини не перевищує гранично припустимого рівня відповідно до правил техніки безпеки, с.

Застосування запропонованого способу визначення часу уповільнення між підривом окремих вибухових блоків при проведенні масових вибухів на кар'єрах дозволить значно підвищити їх сейсмічну безпеку, що до житлових будинків і споруд соціального призначення, які знаходяться біля цих кар'єрів і потребують захисту від негативної дії цих вибухів.

**Приклад застосування часової діаграми.** В якості приклада розглянемо застосування

часової діаграми для масового вибуху колонкових зарядів в кар'єрі ВАТ «ПівдГЗК», що відбувся 26 грудня 2012 року та проходження сейсмічних хвиль від нього біля житлового будинку по вул. Володарського (див. табл. 1).

Відповідно до формули (3), обчислимо мінімально необхідний час уповільнення між підривом блоків №150 та №151:

$$T_{150-151} \geq \tau_{150} - \tau_{151} + \Delta\tau = 1,14 - 1,05 + 0,067 \geq 0,157 \text{ с} \quad (5)$$

Отриманий результат означає, що час уповільнення між підривом блоку № 150 та № 151 закладений у проект (460 мс) цілком достатній для того, щоб уникнути явища інтерференції сейсмічних хвиль біля об'єкту, що захищається.

Аналогічно для вибухових блоків № 151 та № 152:

$$T_{151-152} \geq \tau_{151} - \tau_{152} + \Delta\tau = 1,05 - 1,2 + 0,067 \geq -0,083 \text{ с} \quad (6)$$

Отриманий результат означає, що час уповільнення між підривом блоків № 151 й № 152 закладений у проект (100 мс) цілком достатній для того, щоб уникнути явища інтерференції сейсмічних хвиль. Знак (-) в остаточному результаті (6) означає, що уповільнення при підриванні цих блоків може й не проводитися. Навпаки, блок № 152 можливо підривати разом із блоком № 151 на останніх 0,083 секундах його горіння, при цьому явища інтерференції сейсмічних хвиль на об'єкті, що захищається, спостерігатися не буде.

Аналогічно для вибухових блоків №152 та №153:

$$T_{152-153} \geq \tau_{152} - \tau_{153} + \Delta\tau = 1,2 - 0,96 + 0,067 \geq 0,307 \text{ с} \quad (7)$$

Отриманий результат означає, що час уповільнення між підривом блоків № 152 та № 153 закладений у проект (28 мс) недостатній для того, щоб уникнути явища інтерференції сейсмічних хвиль біля об'єкта, що захищається. Для попередження цього негативного явища, час між підривом цих блоків повинен бути не менше 0,307 с. Сейсмограма, що приведена на рис.1, наглядно підтверджує вище сказане.

Аналогічно для вибухових блоків №153 і №154 та №154 і №155:

$$T_{153-154} \geq \tau_{153} - \tau_{154} + \Delta\tau = 0,96 - 1,37 + 0,067 \geq -0,343 \text{ с} \quad (8)$$

$$T_{154-155} \geq \tau_{154} - \tau_{155} + \Delta\tau = 1,37 - 1,94 + 0,067 \geq -0,503 \text{ с} \quad (9)$$

Отримані результати означають, що час уповільнення між підривом блоків №153 і №154 (125 мс) та між підривом блоків №154 і №155 (666 мс) цілком достатній для того, щоб уникнути явища інтерференції сейсмічних хвиль при підриві цих вибухових блоків біля об'єкту, що захищається. Фізичний зміст знаку (-) в отриманих результатах (8) і (9) такий же як і попередньому випадку.

**Висновки.** Застосування запропонованого способу визначення часу уповільнення між підривом окремих вибухових блоків при проведенні масових вибухів на кар'єрах дозволяє значно підвищити їх сейсмічну безпеку (на 0,5–1 бал за Міжнародною сейсмічною шкалою MSK-64), що до житлових будинків і споруд соціального призначення, які перебувають у безпосередній близькості від місця проведення цих вибухів і потребують захисту від них.

#### Список літератури

1. Единые правила безопасности при взрывных работах. – Киев; Норматив, 1992, -172 с.
2. Техника контроля напряжений и деформаций в горных породах и массивах. Л., Наука, 1978, -243 с.
3. Національний стандарт України. Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки. ДСТУ-4704:2008. - Київ, Держспоживстандарт України, 2012.
4. Несмашный Е.А, Перевертайло А.И., Скачков А.А. Определение скорости сейсмических волн в горном массиве при проведении массовых взрывов на карьере. Вісник Криворізького національного університету, № 34, - Кривий Ріг, 2013.