

**ПРО ВПЛИВ СЕЙСМОВИБУХОВИХ ХВИЛЬ
НА СТІЙКІСТЬ БОРТІВ КАР'ЄРУ**

Проаналізовано дію поширення сейсмічних хвиль та трансформацію їх залежно від гірничо-геологічних умов. Розглянуто вплив сейсмічних коливань в багатошаровому гірничому масиві на стійкість бортів кар'єру внаслідок вибухових робіт. Визначено залежності швидкості зсуву частинок ґрунту від відстані, приведеної до маси заряду. За результатами порівнювального аналізу було встановлено, що домінують за інтенсивністю в зоні можливих обвалень ґрунтових уступів є об'ємні поперечні хвилі.

Ключові слова: сейсмовибухові хвилі, багатошаровий гірничий масив, вибухові роботи, борт кар'єру.

Вступ. Постановка проблеми. Найпоширенішим методом оцінки інтенсивності сейсмічних хвиль і ступеня їх шкідливого впливу, що призводить до ушкодження інженерних об'єктів, є визначення з осцилограм значень масової швидкості зміщення частинок ґрунту, наприклад, для будівлі, в основі її фундаменту. Ці відомості доповнюються частотно-часовими характеристиками, що враховуються через коефіцієнт динамічності, декремент загасання власних коливань будинку і інше. Однак отримані розрахункові дані не можуть бути достовірними для укосів, тому що, з одного боку, базуються на емпіричному матеріалі, а з іншого – отримані на значно більших відстанях, ніж укоси бортів кар'єру.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосовані емпіричні коефіцієнти, що характеризують властивості середовища й загасання масової швидкості з відстанню, приймаються в поверхневій хвилі й не можуть повною мірою врахувати різноманіття властивостей середовища й умов ведення підривних робіт [1–3]. При цьому в реальній хвильовій картині, що викликана, наприклад, під час багатоблокового масового вибуху, і переломлена в ґрунтових укосах, алгоритм руху різних типів хвиль аналітично не може бути розв'язано через свою складність і різноманіття факторів, що вимагають їх обліку. Тому головним джерелом інформації про необхідні параметри хвильового руху та їх зміни з відстанню є експериментальний матеріал у вигляді сейсмограм, що реєструють коливання різного типу хвиль в пункті установки сеймоприймачів. Обробкою цих сейсмограм можна одержати ряд характерних кінематичних, силових показників коливання ґрунтового укосу для встановлення його реакції (появи тих або інших сил за втратою стійкості) [4].

Метою роботи. Дослідження дії різних типів сейсмічних хвиль, що виникають внаслідок проведення промислових вибухів, для визначення домінуючого та встановлення емпіричної залежності швидкості зсуву частинок ґрунту від відстані, приведеної до маси заряду, в даній хвилі.

Викладення основного матеріалу та результати досліджень. Аналіз сейсмологічних спостережень за сейсмоефектом при короткосповільненому вибусі зарядів промислових вибухових речовин показує, що швидкість поширення і тривалість сейсмічних хвиль залежить від кількості груп зарядів, їхньої величини, а також і від петрографічних, стратиграфічних і анізотропних особливостей порід поверхні землі, що складають масив, який струшується. У гірських масивах, в зоні поширення сейсмічних коливань, які викликані вибухом, (область їх дії – 120–150 $r_{зар}$) спостерігаються об'ємні (поздовжні V_p та поперечні V_s) і поверхневі V_r пружні хвилі. Приклад осцилограми де зареєстрований цуг хвиль, які ще не розподілені за типами, наведений на рисунку 1.

На осцилограмі відбиваються дві фази коливань: перша фаза – безпосередній прихід хвилі вибуху, або так званий початковий вступ, а потім головна фаза, що характеризує струс ґрунту, викликаний хвилею напруги вибуху. Перша фаза характеризується порівняно малими амплітудами, малими періодами й невеликою тривалістю. Коливання в другій фазі мають значно більші амплітуди й періоди, тому ці параметри приймаються при оцінці інтенсивності сейсмоколивань в даній точці. Тривалість другої фази коливань також значно більша, ніж першої.

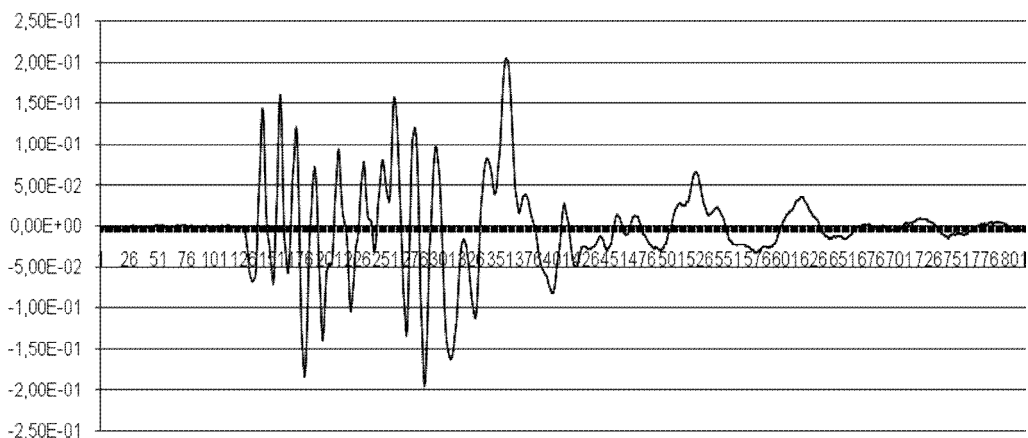


Рис. 1. Характерна осцилограма від масового вибуху зареєстрована в зоні 300 м

В ближній зоні поширення сейсмічних коливань, які викликані дією багатоблокового масового вибуху, при проведенні вибухових робіт у кар'єрі (дія на борти), спостерігаються поздовжні та поперечні об'ємні хвилі.

Для вирішення завдання з оцінки сейсмічної стійкості укосів кар'єру необхідно провести порівняльний аналіз сейсмограм за типами хвиль, виділивши їх поздовжню, поперечну та поверхневу фази, та перевірити, які типи хвиль будуть руйнівними для укосів. Встановлення найнебезпечніших параметрів коливань у цих хвилях проводилися при виконанні експериментальних вибухів від підриву зосереджених зарядів масою 15 кг (вибух 1) та 30 кг (вибух 2). Глибина закладення всіх зарядів становила 1,5 м.

Профіль виміру параметрів сейсмічних хвиль від двох вибухів і у напрямку перпендикулярному осі розташування зарядів становив 462 м, датчики знаходилися на відстані 150, 322 та 462 м. Приклад одержаної сейсмограми експериментального вибуху 1 наведений на рисунку 2, а всі результати сейсмічних вимірів зведено в таблицю 1.

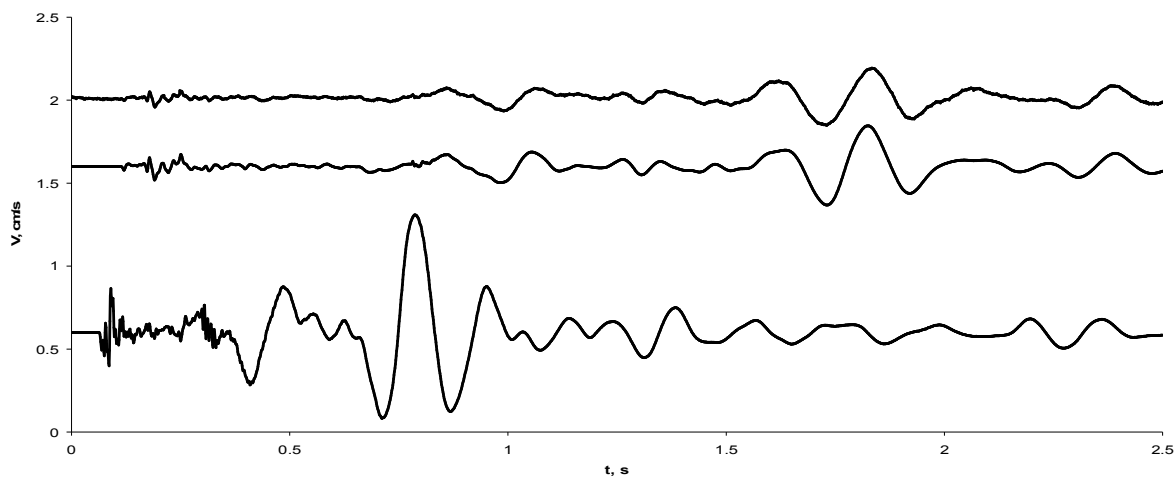


Рис. 2. Характерна осцилограма вибуху одиночного заряду (вибух 1), одержана на відстанях 150, 322 та 462 м

Дані сейсмічних вимірів

№ ви- буху	Канал №	1			6			7			1	6	7
	відстань, м	150			322			462			150	322	462
	маса, кг	заміряна швидкість, см/с									приведена відстань, м/кг ^{1/3}		
		V_p	V_s	V_r	V_p	V_s	V_r	V_p	V_s	V_r			
1	15	0,189	0,208	0,334	0,034	0,070	0,138	0,018	0,071	0,130	60,8	130,6	187,3
2	30	0,00008	0,275	0,708	0,0005	0,088	0,245	0,018	0,072	0,193	48,3	103,6	148,7

Визначення емпіричних коефіцієнтів в кожному типі хвиль, що входять у формулу Садовського, виконували за методикою багатоканальної реєстрації коливань. В результаті чого залежність швидкості зсуву ґрунту (см/с) від приведеної відстані (м/кг^{1/3}) виражена формулами [5]:

для поверхневої хвилі:

$$u = 36,341\bar{r}^{-1,0439}; K_k = 0,882, \quad (1)$$

для поперечної хвилі:

$$u = 47,375\bar{r}^{-1,0648}; K_k = 0,932, \quad (2)$$

де K_k – коефіцієнт кореляції.

Дослід засвідчив незначну різницю в інтенсивностях (амплітуді) поперечної та поверхневої хвиль, і високу частотну складову в поперечній.

В гірничо-геологічних умовах кар'єрів у верхній частині розрізу бортів кар'єру існують уступи з м'яких порід з пониженою швидкістю. В таких умовах утворюється (зароджується) так звана псевдорелеївська хвиля, дуже схожа з хвилею Релея. На відміну від останньої, швидкість псевдорелеївської хвилі залежить від її довжини, тобто спостерігається дисперсія швидкості [6]. Хвилі, довжина L яких значно більша потужності ΔH (м'яких укосів) шару, з місця вибуху проникають і на поверхні землі розповсюджуються зі швидкістю $vR \approx 0,9vS2$, де $vS2$ – швидкість поперечної хвилі в підстилаючому шарі скельних порід. Навпаки, короткі хвилі, для яких $L \ll \Delta H$, розповсюджуються практично лише у шарі м'яких укосів і для них швидкість $vR \approx 0,9vS1$, де $vS1$ – швидкість поперечної хвилі в ґрунтовому укосі. Таким чином, швидкість псевдорелеївської хвилі в даному випадку зростає зі збільшенням довжини хвилі (нормальна дисперсія). Якщо ж м'який ґрунтовий шар укосів характеризується швидкістю $vS1 > vS2$, то спостерігається зворотна картина – швидкість убаває з ростом довжини хвилі (аномальна дисперсія).

При багатоблокових масових вибухах саме поверхневі хвилі можуть викликати руйнівну дію ґрунтової основи далеко розташованих об'єктів, що охороняються, через об'ємно-зсувний характер деформацій ґрунту. У промисловій сейсміці поверхневі хвилі зазвичай є найбільш небезпечними для будівель й вивчаються з метою їхнього зменшення до допустимого рівня. Саме ці хвилі є домінуючими для прогнозу сейсмоефекту вибухів на житлові будинки і використовуються як критерій оцінки їх сейсмостійкості [1].

При веденні підричних робіт у кар'єрах, особливо багатоблокових масових вибухів, для сейсмічної стійкості ґрунтових уступів, які складають робочий і неробочий борти кар'єру були проведені дослідження з вивчення поведінки псевдорелеївської хвилі, яка зароджується з поперечної в кореневій точці і поширюється в площині розподілу двох середовищ «скеля–ґрунт». Результатами порівняльного аналізу було визначено, що домінуючими за інтенсивністю в зоні ґрунтових уступів є об'ємні поперечні хвилі, а не псевдорелеївські.

Розглянемо характерний масовий вибух параметри, за яким зведені у таблиці 2. На рисунках 3 і 4 показані його осцилограма та спектрограми.

Таблиця 2

Параметри характерного багатоблокового масового вибуху

№ блока	Кількість свердловин у блоці	Мах к-сть свердловин в групі (шт.)	Відстань від блока до охорон. об'єкта (м.)	Охоронний об'єкт	Кількість ВР у групі (кг.)		Тривалість вибуху блока (мс)	Інтервал спов. між блоками (мс)	Заг. час вибуху (мс)
					доп.	факт.			
-255-24	26	2	1300	АБК	1700	650	754	171	925
-230-101/ -220-237	53	2	1000	АБК	2000	650	592	39	631
-186-209/ -174-212	38	2	850	КИЦ	1265	450	592	86	678
-260-12	92	2	1050	КИЦ	1650	650	917	90	1007
-260-13	53	2	1000	КИЦ	1500	650	932	64	996
-230-100	59	2	800	КИЦ	1200	696	809	51	860
-198-175	205	2	1050	КИЦ	1650	595	1126	20	1146
-198-176	174	2	1250	КИЦ	2275	700	1034	7	1041
-186-208	105	2	1500	АБК	3640	720	817	39	856
-210-200	158	2	1700	АБК	4400	1000	1052	171	1223
-210-201	18	2	1950	АБК	5000	180	200	13	213
-174-210	1	1	2450	АБК	5000	585	980	79	1059
-162-361	72	3	2950	КИЦ	5000	1450	542	36	578
ІБ № 2 12 год. 30 хв. 02 с									
-42-259	89	4	2800	КИЦ	5000	1087	770	71	841
ІБ № 3 12 год. 30 хв. 03 с									
-54-240	137	2	2350	КИЦ	5000	757	855	121	976
-42-260	152	2	2100	КИЦ	5000	1000	960	13	973
ІБ № 4 12 год. 30 хв. 03 с									
-54-241	113	1	450	КИЦ	550	520	768	60	828

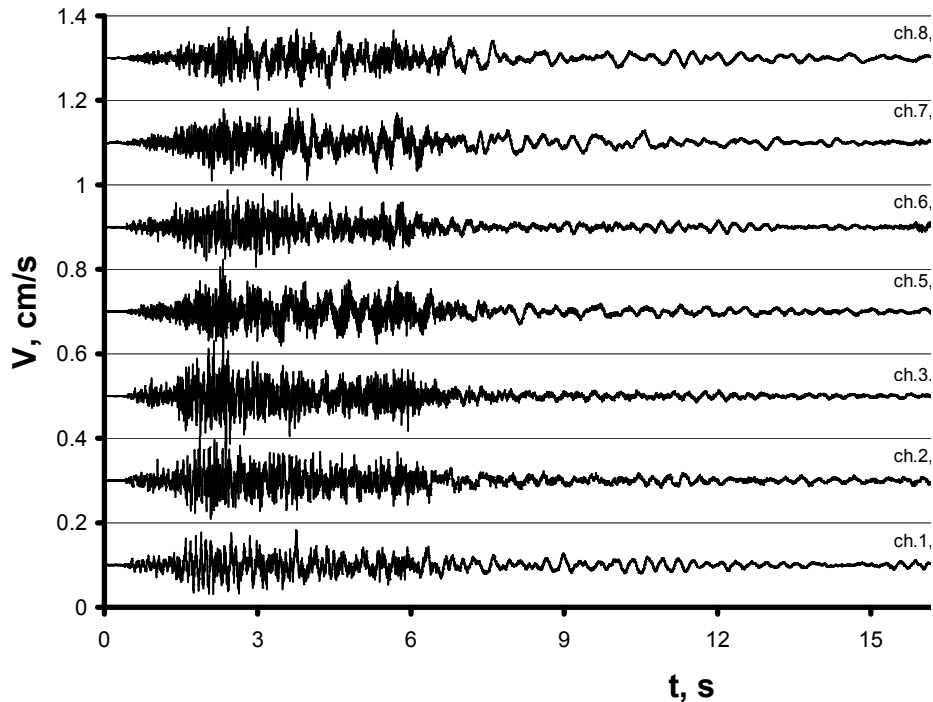


Рис. 3. Осцилограма багатоблокового масового вибуху

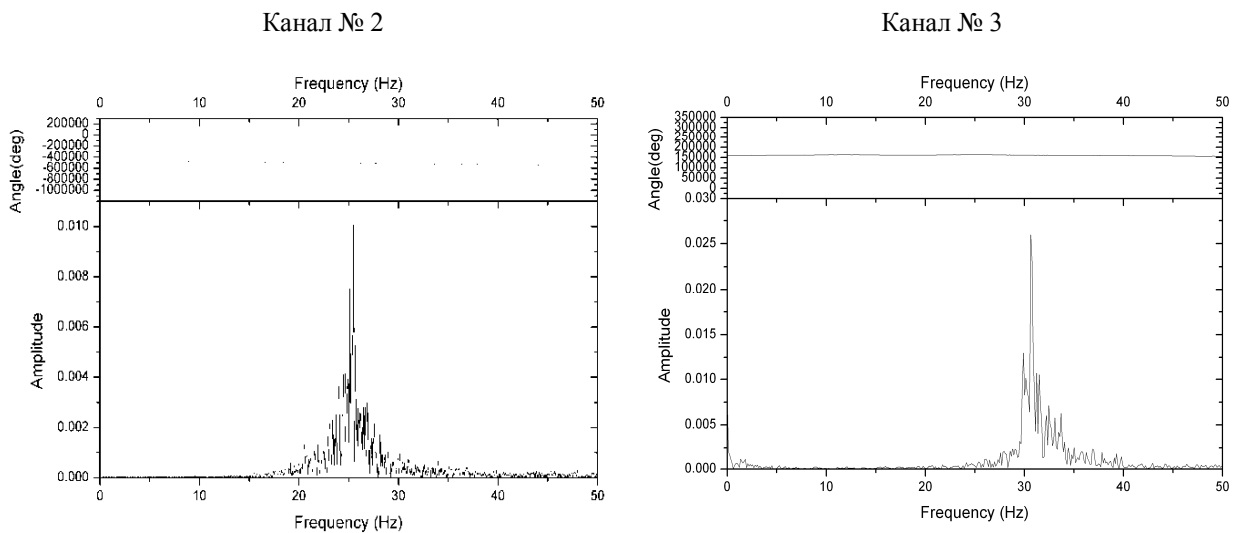


Рис. 4. Спектрограми багатоблокового масового вибуху, отримані по каналах 2 та 3

З отриманих осцилограм і спектрограм встановлено, що максимальні швидкості зміщення частинок ґрунту в ближній зоні (<100 м) припадають на високочастотні коливання, які являють собою об'ємні поперечні хвилі з частотою >25 Гц. Вони перевершують низькочастотні коливання (<10 Гц) в поверхневих типах хвиль, що одержані в дальній зоні >500 м.

Висновки. Наявність високих гармонік негативно впливає на стійкість ґрунтових укосів, тому подальші дослідження з визначення швидкості коливань частинок ґрунту необхідно проводити за їх максимальним значенням, які визначаються з осцилограми в поперечній сейсмічній хвилі.

Список використаної літератури:

1. Ершов И.А. Сопоставление колебаний разной интенсивности, записанных на лессах разной мощности / И.А. Ершов // Вопросы инженерной сейсмологии. – 1975. – № 17.

2. Об эмпирических моделях колебаний грунтов при сильных землетрясениях / *М.П. Салганик* и др. // Вопросы инженерной сейсмологии. – 1982. – № 23.
3. *Епинатьева А.М.* Изучение продольных сейсмических волн, распространяющихся в некоторых реальных средах / *А.М. Епинатьева* // Тр. ИФЗ Ан СССР. – 1960.
4. *Кузьменко А.А.* Распространение сейсмозрывных волн в многослойном горном массиве / *А.А. Кузьменко, Т.В. Хлевнюк, О.Н. Чала* // Вісник НТУУ «КПІ». Серія : Гірництво. – 2010. – Вип. 19. – С. 15–20.
5. *Бойко В.В.* Проблеми сейсмічної безпеки вибухової справи у кар'єрах України : монографія / *В.В. Бойко*. – К. : ТОВ «Видавництво Сталь», 2012. – 184 с.
6. *Боганик Г.Н.* Сейсморазведка / *Г.Н. Боганик, И.И. Гурвич*. – Тверь : АИС, 2006. – 743 с.

ЧАЛА Ольга Миколаївна – кандидат технічних наук, Інститут гідромеханіки НАН України.

Наукові інтереси:

– підвищення надійності оцінки сейсмобезпеки ґрунтових укосів при техногенних вибухах.

Тел.: (044) 453–26–69.

E-mail: sceismic-control@yandex.ru

Стаття надійшла до редакції 18.09.2013