

УДК 622.235.535

Бойко В.В., к.т.н. (Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ)

ПРО СЕЙСМІЧНУ ДІЮ ЗОСЕРЕДЖЕНИХ І РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ЗАРЯДІВ В ҐРУНТОВОМУ МАСИВІ КАР'ЄРА

Розроблено математичну модель для опису процесу взаємодії сейсмовибухових хвиль з ґрунтами під час вибуху групи циліндричних зарядів. З використанням сучасного цифрового комплексу апаратури проведено дослідження сейсмічної дії вибухів зосереджених та розосереджених зарядів в ґрунтовому масиві кар'єра.

Ключові слова: вибух, сейсмічна дія, взаємодія, заряд, кар'єр, датчик, апаратура.

Разработана математическая модель для описания процесса взаимодействия сейсмовзрывных волн с ґрунтами во время взрыва группы цилиндрических зарядов. С использованием современного цифрового комплекса аппаратуры проведены исследования сейсмического действия взрывов сосредоточенных и рассредоточенных зарядов в ґрунтовом массиве карьера.

Ключевые слова: взрыв, сейсмическое действие, взаимодействие, заряд, карьер, датчик, апаратура.

The mathematical model for the description of process of interaction seismic waves with grounds during explosion of group of cylindrical charges of chemical explosive substances is developed. Researches of seismic effect from explosions of the concentrated and dispersed charges in a soil file of an open-cast mine with using modern digital complex of apparatus are conducted.

Keywords: explosion, seismic effect, interaction, a charge, an open-cast mine, sensor, apparatus.

Вступ. Перед виробничниками і науковцями в галузі гірництва стоїть завдання – досягти якісного енергозбережного подрібнення гірської породи з припустимим сейсмічним ефектом. При цьому зі збільшенням масштабів масових вибухів і наближенням підривних робіт до будівель громадського та промислового призначення все більш важливого значення набувають питання забезпечення сейсмобезпечної експлуатації будівель та нормального психологічного стану місцевого населення.

Аналіз останніх досліджень. В останні роки при проведенні промислових масових вибухів у кар'єрах України для монтажу схем короткосповільненого вибуху (КСВ) широко використовуються системи неелектричного ініціювання зарядів (СНІЗ), а спосіб прогнозу сейсмічної дії вибухів залишився без змін [1]. Справа в тому, що при прогнозуванні сейсмоефекту береться до уваги тільки маса ВР всього вибуху або маса ВР в максимальній групі, але групою, в цьому випадку, є заряд, що відділений сповільненням не меншим за 20 мс. Таким чином, вважається, що максимальний сейсмоефект виникає від вибуху одиничного заряду, масою рівною масі ВР в максимальній групі. При цьому не враховується взаємодія хвильових процесів окремих свердловинних зарядів в середині груп.

Якщо порівняти отримані осцилограми з реальних вибухів, то на практиці виявлено суттєву різницю у сейсмічних ефектах від ідентичних вибухів з використанням СНІЗ та систем ініціювання зарядів детонуючим шнуром. При використанні СНІЗ, через технічну можливість застосування сповільнень у широкому діапазоні часових інтервалів, в тому числі і набагато менших ніж 20 мс, збільшується час детонації зарядів, ініційованих миттєво, що впливає на взаємодію сейсмічних хвиль вибуху всіх груп зарядів, які ініціюють неодноразово.

У зв'язку з цим вивчення взаємодії хвильових процесів під час вибухів групових розосереджених зарядів ВР в ґрунтовому масиві кар'єра та, разом з тим, порівняння їх сейсмічного ефекту з сейсмічною дією від вибуху зосереджених зарядів є актуальним науковою задачею.

Постановка завдання. Мета роботи полягає у вивченні сейсмічної дії від вибуху одиничних і групових циліндричних зарядів в ґрунтовому масиві кар'єру для удосконалення способу прогнозування сейсмічного ефекту короткосповільненого підривання.

Для досягнення поставленої мети сформульовані такі завдання:

- розробити математичну модель, алгоритм і програму для проведення чисельних розрахунків зі встановлення полів хвильових процесів від дії вибухів одиничних і групових циліндричних зарядів під час миттєвого, та короткосповільненого підривання в гірському масиві;
- розробити методику сейсмічних вимірювань та програмно-математичного забезпечення обробки їх даних відповідно до умов проведення промислових досліджень сейсмічної дії вибухів на кар'єрах;
- встановити інтенсивність сейсмічних хвиль, викликаних миттєвою дією вибухів одиничних, групових розосереджених та зосереджених зарядів ВР у гірському масиві.

Виклад основного матеріалу дослідження. При проведенні теоретичних досліджень процесів взаємодії хвиль миттєвого та короткоуповільненого підривання групи циліндричних зарядів були розроблені математичні моделі, алгоритми і програми [2-4]. Для цього виділено два етапи розвитку вибуху. На першому етапі розглянуто симетричне деформування відносно осі та руй-

нування гірської породи під дією вибуху одиночного циліндричного заряду. Отримані в результаті чисельного розв'язання задачі залежності параметрів вибухових хвиль (напруги, швидкості частинок, час початку, тривалість і час закінчення дії імпульсу в даній точці ґрунту) від часу використовуються на другому етапі розв'язання задачі. Рух продуктів детонації (ПД) й гірської породи описується рівняннями збереження імпульсу, маси та енергії. Розширення продуктів детонації відбувається згідно з двочленною ізотропою. Співвідношення між напругами й деформаціями гірської породи записуються на основі диференціальної теорії пластичності. Гірська порода в пружній зоні моделюється узагальненим законом Гука з нелінійним кінематичним зміцненням. У випадку пластичних деформацій співвідношення між відповідними деформаціями й напругами записуються з використанням енергетичної умови міцності. Система нелінійних диференціальних рівнянь в частинних похідних доповнюється відповідними початковими та крайовими умовами.

Для розв'язання цієї початково-крайової задачі використано метод скінчених різниць другого порядку точності. Результати чисельного розрахунку основних параметрів хвиль застосовуються на другому етапі, коли, виходячи з принципу суперпозиції хвиль, розраховуються поля напруг і швидкостей від одного заряду та при взаємодії вибухів групи циліндричних зарядів миттєвого й короткосповільненого підривання в гірському масиві.

Далі досліджувалася дія вибухів одного циліндричного заряду, двох зарядів і двох зарядів зі сповільненням та без нього, розташованих на різних відстанях. При цьому виконувалась умова, що маса двох зарядів дорівнювала масі одиночного заряду.

З результату теоретичного дослідження встановлено, що тільки у випадку взаємодії зарядів між ними створюються умови суперпозиції хвиль напружень, при яких відсутні «тіньові» зони (спостерігається руйнування породи між зарядами), а масова швидкість пружної хвилі зменшується. За відсутності взаємодії спостерігається суперпозиція сейсмічних хвиль (масова швидкість пружної хвилі збільшується), а утворені «тіньові» зони характеризують відсутність повного руйнування породи між зарядами. З метою підтвердження теоретичних досліджень необхідно було провести апаратні сейсмовимірювання в реальних умовах від дії вибухів зосереджених і розосереджених зарядів в ґрунтовому масиві кар'єра.

Для цього була визначена організація сейсмічного контролю, яка проводилась із застосуванням методики багатоканальної реєстрації. При цьому реєстрація сейсмоколиваний від вибухів зарядів ВР та обробка інформації (аналіз сейсмограм, амплітудно-частотних параметрів сейсмовибухових хвиль) проводилась по профілях розташування стандартних сейсмодатчиків, кількість яких залежала від поставлених задач, з застосуванням швидкодіючих аналогово-цифрових перетворювачів (АЦП) ти-

пів E-140 та E-440, підключених до персональних комп'ютерів типу ноутбук. [5, 6]. Вибрані схеми апаратурної реєстрації сейсмічних коливань дозволили отримати та обробити цифровий масив даних сейсмічної реєстрації коливань від вибухів з використанням програми Excel для обробки даних. Визначені: коефіцієнти перетворення сейсмічного сигналу сейсмомодатчиків за динамічним та за статичним методами; значення величини швидкості зміщення частинок ґрунту; загальна відносна помилка вимірювань швидкості зміщення.

Для визначення механічної взаємодії вибухів зарядів та сейсмічної інтенсивності підривання досліджувались вибухи розосередженого та зосередженого зарядів ВР з однаковою масою в дві серії. Серія I складалася з одночасного підривання 6 зарядів масою по 5 кг (вибух 1) і 3-х зарядів по 5 кг (вибух 2). Серія II складалася з зосередженого заряду 15 кг (вибух 3) і зосередженого заряду масою 30 кг (вибух 4). Глибина закладання всіх зарядів становила 1,5 м.

Профіль виміру параметрів сейсмічних хвиль розташовувався в напрямку від місця вибуху, перпендикулярно ряду зарядів ВР, з установкою датчиків на відстанях 150, 242, 322 та 462 м. Отримана осцилограма зображена на рис. 1.

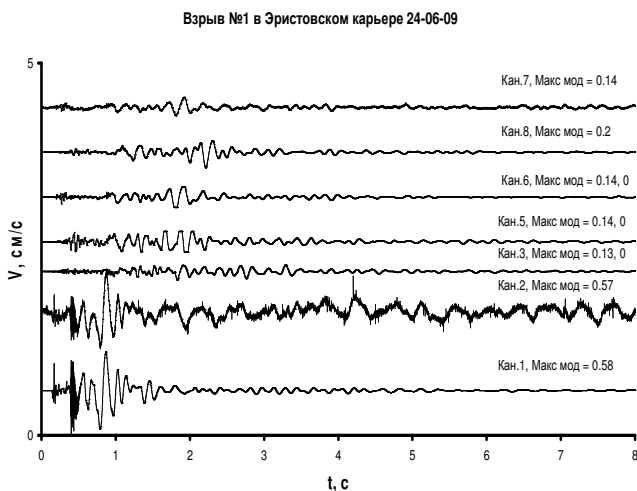


Рис. 1. Сейсмограми експериментальних вибухів

На основі отриманих даних побудовано залежність швидкості коливань частинок ґрунту $u(x, z)$ від приведеної відстані r (рис. 2). Видно, що два вибухи з однаковою масою ВР, коли один із зарядів розосереджений, а інший зосереджений, мають різні значення масової швидкості коливань. Тобто навіть при однаковій масі ВР, що підривається миттєво,

має значення наявність розосередження заряду. Це явище виникає в результаті взаємодії між зарядами ВР миттєвого підірвання.

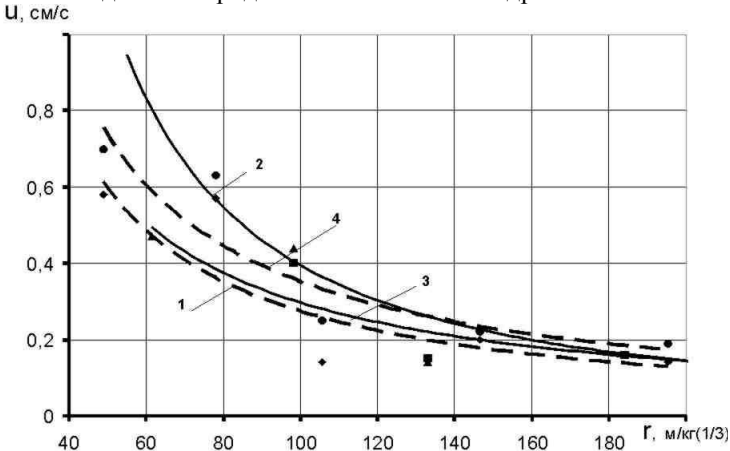


Рис. 2. Залежність швидкості коливань частинки ґрунту від приведеної відстані під час вибухів в польових умовах: 1 – вибух 6-ти розосереджених зарядів масою по 5 кг; 2 – вибух 3-х зарядів масою по 5 кг; 3 – зосередженого заряду масою 15 кг; 4 – заряду масою 30 кг

Аналіз залежностей на рис. 1 показує, що сейсмічний ефект вибуху знижується при рівному поділі одного заряду на декілька, за умови таких відстаней між зарядами, які забезпечать утворення суцільної зони руйнування гірничої породи, тобто встановлених теоретично. Якщо відстань більша, то від вибуху зарядів між воронками руйнування утворюються тінвові зони, що змінюють закономірність затухання сейсмічної хвилі та суттєво підвищують значення масової швидкості (крива 2, порівняно з кривою 3). При поділі одиночного зосередженого заряду на частини сумарна маса ВР яких дорівнює масі зосередженого, інтенсивність сейсмічних коливань зменшується на 10% (крива 1 порівняно з кривою 4). Це пояснюється наявністю взаємодії між зарядами миттєвого підірвання.

Таким чином, для прогнозування сейсмічної дії вибуху доцільно використовувати такий спосіб оцінки, який враховує взаємодію полів напруг при вибуху свердловинних зарядів, що відділені сповільненнями менше 20 мс. Таким способом є оцінка за масою вибухової речовини, що підіривається за 1 мс.

Висновки

1. Розроблено математичну модель, що описує процес взаємодії сейсмовибухових хвиль в ґрунтах під час вибуху циліндричних зарядів вибухових речовин. Встановлено закономірності розподілу хвильових полів від дії вибуху одиночних і групових циліндричних зарядів під час миттєвого та короткосповільненого підривання в гірському масиві, зокрема, у випадку утворення суцільної зони руйнування масова швидкість пружної хвилі зменшується, а при відсутності взаємодії спостерігається утворення «гінгової» зони, тобто неповне руйнування породи між зарядами зі збільшеною інтенсивністю сейсмічних коливань на 15-20%.

2. Теоретично обґрунтована і експериментально підтверджена наявність впливу взаємодії свердловинних зарядів ВР, що вибухають миттєво з внутрішньогруповими інтервалами сповільнення, на суперпозицію пружних хвиль і дано оцінку сейсмобезпеки короткосповільнених масових вибухів не по масі заряду ВР, яка миттєво вибухає в максимальній групі, а за масою, яка підривається в одну мілісекунду.

3. Встановлено зменшення інтенсивності сейсмічних хвиль на 10-15% в ґрунтовому масиві під час вибухів розосереджених зарядів ВР порівняно з зосередженими при ідентичних вибухах в обох випадках, що є результатом хвильової їх взаємодії.

1. Единые правила безопасности при взрывных работах. – К. : Норматив, 1992. – 172 с. 2. Ремез Н. С. Оценка сейсмической безопасности по данным моделирования процессов взаимодействия волн при короткозамедленном взрывании цилиндрических зарядов / Н. С. Ремез, В. В. Бойко, Ю. А. Яценко / Проблемы охраны праці. – Київ, 2009. – Випуск 17. – С. 41-48. 3. Ремез Н. С. Моделирование процессов взаимодействия волновых полей при взрыве цилиндрических зарядов в горных породах / Н. С. Ремез, В. В. Бойко, Ю. А. Яценко // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – Випуск 18. – 2009. – С. 10-17. 4. Ремез Н. С. Оцінка сейсмобезпеки вибухів зарядів, які ініціюють по неелектричній системі типу «Нонель» / Н. С. Ремез, В. В. Бойко // XIX міжнародній науковій конференції «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках», сентябрь 2009, Крым, Алушта. – С. 278-280. 5. Бойко В. В. Анализ взрывов возле Цыбулики / В. В. Бойко, В. А. Лемешко // П-КАД Промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. – 2006. – № 3. – С. 32. 6. Бойко В. В. Мобильная измерительная лаборатория / В. В. Бойко, В. А. Лемешко, В. В. Бойко (мл). // П-КАД Промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. – 2006. – № 1. – С. 30-31.

Рецензент: д.т.н., професор Самедов А.М. (Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ)