1. **МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**
   1. **МЕТОДИКА ВИМІРІВ ПАРАМЕТРІВ СЕЙСМОВИБУХОВИХ ХВИЛЬ**

Інструментальні записи сейсмовибухових хвиль при їх поширенні по виділених профілях в умовах «ПАТ Коростенський кар'єр» проводилися як при вибухах одиничних, так і системи зарядів вибухової речовини (ВР). Ці дослідження вимагають розробки положень і вимірювальних засобів служби вимірювань, їх ефективного функціонування у розв'язуваних наукових завданнях і їхнього використання у конкретних умовах. Тому при проведенні експериментальних досліджень для вивчення сейсмічних властивостей гірського масиву існуючого родовища і перенесення їх на об’єкт, що охороняється, обрана апаратура повинна забезпечити не тільки виміри швидкості коливань, але і програму спектрального аналізу всього коливального процесу "місце вибуху – гірський масив – об’єкт" у взаємозв'язку з його сейсмостійкістю, технічним станом, тощо. Таким чином, одним із завдань, які ставилися для досягнення мети цієї роботи, була розробка методики сейсмічних вимірів для вибору необхідних структурних схем апаратурної реєстрації коливань, обробка результатів вимірів і досягнення імовірності одержання достовірних даних в умовах проведення різних вибухів. Обрані сейсмоприймачі та засоби реєстрації повинні забезпечувати не тільки необхідні вимоги до сейсмічних вимірів і контролю сейсмобезпечності, а і надати можливість володіти необхідною інформацією про умови вибуху та сейсмовибухові хвилі, що дасть можливість одержати такий збір кількісних показників щодо впливу сейсмовибухових хвиль на об'єкти, що охороняються, який досить точно міг би підтвердити або спростувати результати аналітичних досліджень і одержати нові дані в конкретних умовах.

Обробку експериментальних даних здійснювали методами математичної статистики з одержанням регресій за програмами багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу. Близькість зв'язку досліджуваних факторів оцінювали за індексом кореляції.

Мінімальне і необхідне число сейсмометричних вимірів обчислювалось за нижче наведеною формулою:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1) |

де *Квар* – коефіцієнт варіації, який характеризує розкид експериментальних точок: *Квар* = *σ*/*Ксер* 100 %;

 – ймовірна помилка визначення коефіцієнта варіації;

*σ* – середньоквадратичне відхилення від середньої;

*Ксер* – середньоарифметична величина ряду.

Сейсмічні виміри (контроль) наведені в роботі – це виміри масової швидкості та періоду коливань сейсмовибухових хвиль у ґрунтовому масиві як за профільними лініями, так і в окремих пунктах.

Головною метою сейсмічних вимірів є встановлення закономірностей взаємодії сейсмовибухових хвиль у коливальній системі "місце вибуху – гірський масив – об’єкт" з урахуванням частотних характеристик коливань ґрунту в різних його профілях. За результатами цих вимірів визначаються у різних діапазонах частоти масові швидкості коливань.

Завданнями інструментального контролю є:

1. оперативний контроль над впливами сейсмовибухових хвиль на охоронні об’єкти шляхом порівняння фактичних (за показниками сейсмометричної апаратури) рівнів коливань з розрахунковими або нормативними;
2. статистичне накопичення даних про параметри коливань (швидкості і частоти) і використання їх при корегуванні існуючих масштабів вибуху;
3. вибір безпечних рівнів коливань для об’єктів;
4. використання даних сейсмовиявлень від короткосповільненого вибуху системи свердловинних зарядів ВР за характерними профільними лініями, для розробки Рекомендацій з визначення сейсмобезпечних параметрів вибухових робіт на різних ділянках кар’єрного поля та переносу цих даних на райони з подібними гірничо-геологічними і технічними умовами.

Сейсмічні спостереження дають можливість кількісно оцінити рівень коливань, а потім розробити рекомендації з безпечної експлуатації об’єктів, які охороняються в умовах ведення вибухових робіт.

Для одержання необхідної інформації про умови масового вибуху і сейсмовибухові хвилі дані інструментальних вимірів уніфікувалися за нижче наведеною єдиною формою. Дані вимірів розподілилися на наступні групи.

1. Загальні відомості.

Дата вибуху, найменування гірничого підприємства, абсолютні оцінки блоків, що підривають, і їхнє розташування на місцевості.

Геодезична характеристика профілю та місце установки сейсмоприймачів (абсолютна оцінка, азимут напрямку на вибух).

Вид плато і відмітка, на якій установлені сейсмоприймачі.

Тип сейсмоприймачів, які записують параметри хвиль і масштаб запису.

1. Характеристика порід у місці установки сейсмоприймачів, параметри ВР.
2. Характеристика покриваючих порід.

Генетичні типи і назви порід, їхня потужність, щільність, швидкість поширення поздовжніх хвиль у масиві. Акустична твердість.

Глибина дзеркала ґрунтових вод.

Глибина промерзання верхнього шару порід на момент запису вибуху.

1. Параметри вибуху кожного блоку і характеристика порід, які підривають.

Геологічне найменування порід, які підривають, щільність, швидкість поширення поздовжніх хвиль, акустична твердість, коефіцієнт міцності за М.М. Протодьяконовим.

Наявність виробленого простору, порядок висадження груп у блоці і блоків на горизонтах, напрямок детонації щодо сейсмоприймачів. Тип ВР, його маса, схема і просторове розташування блоку, його розміри (по кожному блоку). Схеми комутації із вказівкою місця установки і типу сповільнювачів (із наведенням маси зарядів в групах та інтервалів сповільненя між ними та всередині груп).

Кількість груп, що вибухають, зарядів у блоці і свердловин у групі, кількість блоків; глибина і діаметр свердловин, лінія найменшого опору, сітка свердловин, маса ВР у свердловині, конструкція заряду.

Прийнята і фактична питома витрати ВР.

Відстані від блоків, які вибухають, (груп) зарядів до сейсмоприймачів.

1. Параметри сейсмічних хвиль.

Максимальна амплітуда масової швидкості коливань за типами хвиль та кожного типу по складових, час запізнення максимальної амплітуди коливань щодо першого вступу хвилі. Векторна швидкість зміщення часток ґрунту (см/с) при одночасному вступі складових за X, Y і Z.

Переважні періоди і довжина хвиль у точках спостереження. Загальна тривалість коливань, логарифмічний декремент загасання. Час першого вступу у вертикальній складовій щодо радіальної та тангенціальної, а також взаємні різниці моментів вступу однотипних і різнотипних хвиль. Збір інформаційного матеріалу за єдиним зразком дасть можливість обробити його за спеціально розробленими програмами.

1. Вибір пунктів і методів спостережень. Встанов­лення сейсмоприймачів суворо у профільних напрямках.

З метою оперативного контролю умов виконання проектів ВР, задоволення арбітражних оцінок у конфліктних ситуаціях, коли мають місце суб'єктивні відчуття підвищеного або зниженого проявів сейсмічного ефекту вибухів, застосовується скрупульозний підхід до умов проведення інструментального контролю над сейсмічною дією вибуху, у т.ч. і за вибором пунктів спостереження. Пункти реєстрації коливань ґрунту обладнуються на ділянках і об'єктах, розташованих у безпосередній близькості від найближчих підривних блоків, відразу за границею безпеки по розльоту шматків породи та за напрямками розташування об’єктів, що охороняються.

Розміщення точок спостереження визначається характером поставленого завдання – визначенням особливостей поширення коливань від масових вибухів у 5–7 точках спостереження, що розташовані на ґрунті по обраному лінійному профілю. При цьому особлива увага приділяється технологічним факторам ведення ВР (наявність виробленого простору, конфігурація заряду, черговість висадження зарядів і т.п.), а також розташуванню точок спостереження щодо блоків, що вибухають (фронтальне, тильне, флангове), тому що зазначені фактори суттєво впливають на інтенсивність струсів ґрунту.

* 1. **Характеристика цифрових сейсмоапаратурних комплексів**

Наведено технічні характеристики апаратури і їх можливості для виконання завдань в умовах «ПАТ Коростенський кар’єр» щодо реєстрації сейсмічних коливань, збуджених вибухами ВР, які розповсюджуються в умовах масивів гірничих порід (*табл. 2.1*).

*Таблиця 2.1*

**Технічні характеристики апаратури**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Найменування і тип засобу вимі­рювання, НТД | Метрологічні характеристики | Найменування вимірюваної фізичної величини |
| 1. Сейсмо­приймачі СМ-3 (ТУ 25-04.2861-79) | Маятниковий прилад з магнітоелектричним перетворювачем.  Амплітуда – 0,001 до 5 мм.  Припустиме прискорення – до 10 м/с.  Коефіцієнти перетворення котушок –  15,00±2,25 В· с/м.  Період власних коливань маятника – 2,0±0,1 с.  Максимальна похибка – 10 %.  Габаритні розміри – 230×170×145 мм | Перетворення механічних коливань (швидкості зміщення) на електричну напругу |
| 2. Аналого-цифровий перетворювач АЦП Е-440 | Кількість каналів – 16.  Розрядність – 14 біт.  Діапазон вхідних сигналів, В – 10, 2,5, 0,625, 0,15625.  Час перетворення – 2,5 мкс.  Максимальна погрішність по кожному каналу:  з роздільним корегуванням вхідних даних – 0,15 %; без корегування – 3 % | Перетворення електричної напруги в цифровий код |
| 3. Персональ­ний комп'ютер | Типу "note-book" з характеристиками ОП – 512 Мб або більше, НЖ МД – 806 Мб або більше.  Центральний процесор – Pentium 4 або вище.  Похибка – не вище 0,01 % | Зберігання, відоб­раження та об­робка цифрового коду, введеного з АЦП Е-440 |
| 4. Гірничий компас ГК-2  (ТУ 25-04) | Ціна поділки виміру – не більше 0,5 град | Орієнтація сейс­моприймача на місці установки |

При попередніх дослідах в умовах «ПАТ Коростенський кар’єр» проаналізовані точність та особливості різних типів сейсмодатчиків і відмічається, що електромеханічні датчики (струнні і маятникові) мають дуже високу точність (по шкалі: дуже висока, висока, середня, низька), а також здатність вимірювати процеси низької частоти, що особливо важливо при замірах параметрів сейсмовибухових хвиль.

Як вимірювальний елемент інформаційного каналу було обрано електромеханічні датчики маятникового типу СМ-3 і СМ-3В. На *рис. 2.1.–2.2* наведено схеми вимірювальної апаратури**.**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Вимірювальний елемент |  | Аналого-цифровий перетворювач |  | Персональний комп'ютер |
|  |  |

**Рис. 2.1. Основні елементи інформаційного каналу**

**АЦП**

Е140-440

СМ-3В

СМ-3

**Рис. 2.2. Схема вимірювання**

Будучи принципово однаковими, датчики СМ-3 і СМ-3В відрізняються коефіцієнтом перетворення. Для СМ-3 коефіцієнт перетворення рівний 15 В·с/м, а для датчика СМ-3В – 135 В·с/м. До позитивних якостей датчика належать:

1. Великий діапазон вимірювальних амплітуд переміщень (від 1·10–9 м до 5·10–3 м).
2. Досить широкий діапазон частот (0,5÷170 Гц).
3. Високі експлуатаційні якості приладу.
4. Малий коефіцієнт нелінійних викривлень.

До недоліків належить його маса – 6,5 кг.

Основні технічні характеристики приладу СМ-3 зведено у *табл. 2.2.*

*Таблиця 2.2*

**Основні технічні характеристики приладу СМ-3**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Найменування характеристики | Величина | Розмірність величини |
| Коефіцієнти перетворення котушок | 15±2,25 | В·с/м |
| Активний опір робочої котушки | 56±11,2 | Ом |
| Активний опір котушки загасання | 59±11,8 | Ом |
| Повітряне загасання маятника | 0,02 | с |
| Період власних коливань маятника | >2±0,1 | с |
| Габаритні розміри, не більше | 230×170×145 | мм |
| Вага, не більша | 7,4 | кг |

Принцип дії приладу полягає в наступному: корпус приладу із закріпленим на основі магнітом жорстко кріпиться до досліджуваного об'єкту і повторює його рухи. Маятник із закріпленою на ньому котушкою прагне залишитися в стані спокою. Через відносний рух магніту і котушки в останній виникає електрорушійна сила (ЕРС), величина якої буде пропорційна швидкості руху. Зміна цієї ЕРС і фіксується у вузлі реєстрації.

Необхідно також акцентувати увагу на одній проблемі – проблемі тарування. Переважає, з погляду точності, динамічний метод тарування, тобто за допомогою вібростенду визначається сімейство коефіцієнтів перетворення. Загалом коефіцієнт перетворення *Kd* обчислюється за формулою:

*Kd* *= u* / (*2πfΑ*), (2.2)

де *u* – напруга на виході сейсмодатчика у вольтах,

*А* – амплітуда зсуву часток ґрунту в метрах,

*f* – частота коливання в герцах (1/с).

Отже, кожному значенню напруги відповідатиме амплітуда у функції частоти *A(f)*. Для знаходження дійсного значення амплітуди *A* необхідно обчислити значення частоти *f*, а потім по тарувальній кривій *u = φ (A)*, при фіксованому значенні *f* обчислити і значення амплітуди *А*. Таруваня також може проводитись аналітичним методом. Як видно з роботи [5] коефіцієнти перетворення визначені цими двома методами можуть відрізнятись один від одного від 7% до 13%.

Наступним елементом інформаційного каналу є аналого–цифровий перетворювач (АЦП). В дослідженнях використовувались АЦП Е14-140 і Е14-440, розроблені російською фірмою L-CARD, і які пройшли метрологічні випробування у Росії**.** Пристрої Е14-140 і Е14-440 є настільки популярними у країнах СНД, що деякі країни починають випускати АЦП-двійники. В українській фірмі HOLIT DATA розпочато вироб­ництво АЦП АDA1406, дуже схожого на російський АЦП Е14-440. Три­валий час фірма HOLIT DATA представляла фірму L-CARD в Україні. Але популярними на сьогодні залишаються АЦП Е14-140 і Е14-440. Ці пристрої були розроблені для створення мобільних вимірювальних систем і є малогабаритними багатофункціональними модулями, які підключаються до персонального комп'ютера (ПК) через інтерфейс USB. Модуль Е14-140 було створено як альтернативу більш швидкодіючому і дорожчому модулю Е14-440. Багатофункціональний модуль Е14-140 дає можливість працювати з 16-а диференціальними або 32-а каналами із загальним заземленням. Кожний з аналогових каналів підключається до АЦП через програмно керований атенюатор, що дозволяє задавати один із чотирьох діапазонів виміру напруги. Модуль Е14-140 забезпечує безперервний збір аналогових даних на частотах дискретизації до 100 Кгц, а модуль Е14-440 – на частотах до 400 Кгц. Технічні характеристики модулів Е14-140 і Е14-440 наведено у *табл. 2.3*.

*Таблиця 2.3*

**Характеристики модулів Е14-140 і Е14-440**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметр | Значення параметрів | |
| Е14-440 | Е14-140 |
| Кількість каналів | 16 | |
| Розрядність АЦП | 14 біт | |
| Діапазон вхідного сигналу, В | ±10; ±2,5; ±0,625; ±0,156 | |
| Максимальна частота перетворення | 400 кГц | 100 кГц |
| Розміри, мм | 129×95×26 | |
| Маса, г | 250 | |
| Робоча температура | +5 ÷ +40оС | |

З урахуванням необхідної дискретизації *td*при реєстрації параметрів сейсмовибухових хвиль обчислимо мінімально необхідну частоту перетворення АЦП. Задамо *td*= 0,001 с. З урахуванням використання 16 вимірювальних каналів (16 датчиків) необхідна частота перетворення буде

*f*= *N/td*, (2.3)

де *N* – кількість каналів (датчиків, що підключаються до АЦП).

Підставимо значення: *f = N/ td*= 16/0,001 = 16000 Гц = 16 Кгц.

Враховуючи, що АЦП Е14-440 і Е14-140 працюють з частотами 400 Кгц і 100 Кгц, можна зробити висновок, що вони підходять для реєстрації параметрів сейсмовибухових процесів.

Останнім елементом вимірювального каналу є ПК під управлінням ОС «Windows».

Для реєстрації сигналів використовувалося програмне забезпечення фірми L-CARD. Обробка інформації проводилася на стаціонарному ПК за допомогою програм, розроблених у лабораторії, а також пакетів MS Office, Microcal Origin.

Для виміру параметрів сейсмовибухових хвиль використовувалося як мінімум 7 сейсмічних датчиків, описаного вище типу, пристрої   
Е14-140 і Е14-440, а також ПК. ПК і АЦП установлювалися в бункері або авто, а сейсмодатчики розташовувалися по профілю на вимірювальному масиві. Для встановлення координат датчиків використовувалася супутникова система.

Запуск реєструючої апаратури проводився вручну за 1–2 хвилини до моменту вибуху і закінчувався через 1–2 хвилини після закінчення вибуху. Потім із цього запису "вирізали" потрібний фрагмент. Таким чином, можна записати, а згодом проаналізувати, значну кількість вибухів. Дискретизація вибухів проводилася від 0,1 мс до 1,0 мс.

Для порівняння результатів записів, були проведені виміри параметрів сейсмовибухових хвиль (СВХ) апаратурним комплексом СМ-3 → АЦП Е 14-440 → ПК із даними, які були отримані цифровим сейсмографом Vibracord Plus. Останій, оснащений три-координатними датчиками (за координатами X, Y, Z), які встановлювались поруч із апаратурним комплексом, що складається із трьох сейсмодатчиків СМ-3, з орієнтованими по напрямках X, Y, Z, а також АЦП Е 14-440 і ПК. Перед проведенням вимірів всі сейсмічні датчики проходили метрологічну перевірку для одержання в «Укрметртестстандарт» Свідоцтва про придатність вимірів. Результати вимірів представлені в *табл. 2.4.*

*Таблиця 2.4*

**Значення швидкості зміщення ґрунту (см/c) за результатами виміру різними сейсмоапаратурними комплексами**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Складова коливань | Комплекс  СМ-3→Е 14-440→ПК | Vibracord Plus |
| X | 1,1 (0,178) | 1,33 |
| Y | 1,04 (0,163) | 0,93 |
| Z | 1,6(0,154) | 1,2 |

З *табл. 2.4* встановлено, що при вимірюванні зазначеними апаратурними комплексами зафіксовані величини максимальних значень швидкостей зміщення ґрунту перебувають практично на одному рівні.

Максимальний вплив від коливального процесу може оцінюватися модулем повного вектора швидкості коливань

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.4) |

якщо швидкість коливань часток ґрунту за складовими коливань досягає максимуму в той самий час у межах зміщення фаз на 90° [6].

Сказане підтверджується фрагментом осцилограми (*рис. 2.3*), де представлені записи швидкості зміщення ґрунту за трьома складовими (X, Y, Z) у спільному пункті спостереження двох апаратурних комплексів.

З *табл. 2.3* і *рис. 2.3* видно, що різниця в часі вступу максимальних амплітуд за складовими коливань дорівнює майже періоду коливань (*Т* = 0,029 с), тобто зміщення фаз досягає 360°, і тому модуль повного вектора швидкості не може визначатися за формулою (2.2)**.** На жаль, цю помилку допускають багато дослідників [7, 8, 9], порушуючи не тільки сейсмологічне поняття модуля повного вектора, але і математичне. У розглянутому випадку модуль повного вектора швидкості визначається за лінією 1–1 (*рис. 2.3*), що відповідає часу вступу складових коливань 0,153 с, або за лінією 2–2 (0,178 с). При цьому максимальний вплив від коливального процесу може бути оцінено за формулою (2.2) і його значення становить 1,9 см/c і 1,66 см/c відповідно.

|  |
| --- |
| Описание: рис1_КАЩЕЕВКА  Кан. 2, СМ-3, Y, *V*max = 1,042 см/с  Кан. 1, СМ-3, Z, *V*max = 1,6 см/с  Кан. 3, СМ-3, X, *V*max = 1,1 см/с |
| **Рис. 2.3. Характерна осцилограма масового вибуху отримана трьома сейсмодатчиками СМ-3 зорієнтованими за напрямками X, Y, Z в умовах «ПАТ Коростенський кар’єр»** |

Як приклад можливостей апаратурного комплексу СМ-3→  
→Е14-440→ПК, за осцилограмами їх реєстрацій, проведемо дослідження впливу масових вибухів №1 і №2 на опору ЛЕП, розташованих відповідно на відстанях 380 м і 440 м від блоків, які підриваються. Сейсмоприймачі СМ-3 встановлювались на ґрунтовій основі опори ЛЕП і на її конструкції на висоті 1,5 м і положення сейсмоприймачів не змінювалося між вибухами 1 і 2.

На *рис. 2.4, а, б* представлені осцилограми відповідно вибухів №1 і №2 за вертикальною складовою, а в *табл. 2.5* наведені максимальні значення швидкості зміщення часток ґрунту.

*Таблиця 2.5*

**Максимальні значення швидкості зміщення часток ґрунту (см/c) на конструкції опори і її ґрунтовій основі в умовах «ПАТ Коростенський кар’єр»**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Місце установки сейсмоприймача | Вибух №1 | Вибух №2 |
| Конструкція опори | 0,64 см/c | 0,45 см/c |
| Ґрунт основи опори | 0,85 см/c | 0,37 см/c |

|  |  |
| --- | --- |
| *а* | ІФВВІВІВ  На конструкції  На ґрунті |
| *б* | ІВФВІФВ  На ґрунті  На конструкції |

**Рис. 2.4. Осцилограми масових вибухів №1 і №2 за вертикальною складовою в умовах «ПАТ Коростенський кар’єр»**

Аналізуючи осцилограми і дані *табл. 2.5*, можна помітити, що при вибуху №1 швидкість коливання ґрунту більша, ніж швидкість коливання конструкції опори, а при вибуху №2 – навпаки. Тому можуть виникнути сумніви, як до запису так і до обробки експерименту. Однак аналіз амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) сейсмічних коливань, отри­маних комплексом і представлених на *рис. 2.5* і *2.6*, знімають ці сумніви.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *а* | *б* | |
| **Рис. 2.5. АЧХ сейсмічних коливань, записаних сейсмоприймачами встановленими на ґрунті (а) і на конструкції опори (б) при вибуху №1 в умовах «ПАТ Коростенський кар’єр»** | | |
|  | |  |
| *а* | | *б* |

**Рис. 2.6. АЧХ сейсмічних коливань, записаних сейсмоприймачами встановленими на ґрунті (*а*) і на конструкції опори (*б*) при вибуху №2 в умовах «ПАТ Коростенський кар’єр»**

Аналізуючи АЧХ, представлені на *рис. 2.5, б* і *2.6, б*можна відзна­чити, що для конструкції опори при вибухах №1 і №2 вони мають яскраво виражений пік амплітуди коливань на частоті 26,5 Гц, що є частотою власних коливань конструкції опори ЛЕП. Яскраво виражених амплітудних максимумів на частотах, близьких до 26,5 Гц серед сейсмічних коливань, зафіксованих на ґрунтовій основі опори від вибуху №1, не було (*рис. 2.6, а*).Тому резонансних явищ при взаємодії СВХґрунтової основи опориіз її конструкцією не відбувалося і масова швидкість коливань елементів конструкції опори виявилася меншою, ніж ґрунтової основи, як наслідок дисипативних втрат енергії при передачі хвильових явищ на елементи конструкції опори.

При вибуху №2, заміряного у ґрунтовій основі опори, на графіку АЧХ сейсмічних коливань (*рис. 2.6, а*), зафіксований амплітудний максимум на частоті, близькій до частоти власних коливань конструкції опори (22,5 Гц), тому спрацював ефект резонансного явища між СВХ і елементами конструкції опори, що призвело до збільшення швидкості коливання в порівнянні зі швидкістю зсуву часток ґрунту в 1,22 рази.

У результаті проведених спостережень отримане підтвердження того, що при дослідженні дії СВХ на охоронний об'єкт необхідно проводити спектральний аналіз коливального процесу, які зареєстрували всі сеймодатчики, а також аргументовано показано, що модуль повного вектора швидкості зміщення часток ґрунту за значеннями складових коливань (X, Y, Z) визначається тільки в той самий час що і коливальний процес.

На основі вище приведених досліджень встановлено, що організацію сейсмічного контролю на сучасному рівні може забезпечити обґрунтована в розділі структурна схема апаратурної реєстрації коливань.

**2.2 РОЗПОДІЛ СЕЙСМОВИБУХОВИХ ХВИЛЬ В АНІЗОТРОПНОМУ МАСИВІ В УМОВАХ «ПАТ КОРОСТЕНСЬКИЙ КАР'ЄР»**

Існує проблема сейсмічної безпеки вибухової справи при поширенні сейсмічних хвиль в анізотропних масивах гірських порід в умовах «ПАТ Коростенський кар'єр», яка полягає в тому, що механізм регулювання параметрів сейсмічних хвиль пов'язаний із хвильовими явищами на тріщинах, розломах і інших порушеннях цілісності, що існують у різних регіонах території України, де навколо кар’єра розташовані охоронні природні і інженерні об'єкти, вирішенню якої присвячений цей розділ. В результаті вивчення геолого-тектонічної структури територій «ПАТ Коростенський кар'єр» була проведена її класифікація для прогнозування сейсмічної інтенсивності вибуху залежно від неоднорідності масиву між кар'єром з видобутку будівельної сировини та прилеглої до нього зони, де розташовані охоронювані об’єкти. В результаті сейсмічних явищ, викликаних промисловими вибухами, у густонаселених районах виникає сейсмонебезпека стійкості будівель і споруд, пов'язана із помилками, щодо оцінки сейсмічної дії вибуху та форм і розмірів сейсмобезпечних границь за існуючими нормативними документами. Для розв'язання цієї проблеми було обрано напрямок подальших досліджень пов'язаних, в першу чергу, з необхідністю виявлення впливу неоднорідності масивів конкретних територій «ПАТ Коростенський кар'єр» на форму і розміри сейсмонебезпечних зон (до цього вважалось що вони мають форму кола) та розробити сейсмобезпечні технологічні схеми виконання техногенних вибухів, які особливо ускладнювались при наближенні робіт до охоронних об’єктів. При цьому реальні значення, щодо визначення сейсмобезпечних відстаней відрізнялись від нормативних в 1,3–1,6 рази. Тому дослідження також були направлені на створення нових технологічних схем вибухової мережі та оперативного визначення форм та розмірів сейсмобезпечних границь, які на однакових відстанях від вибуху в різних геолого-тектонічних структурах території України значно відрізнялись. Наразі вкрай необхідні дослідження, які дадуть змогу виправити існуючі помилкові визначення форм та розмірів сейсмобезпечних границь при кар’єрних вибухах та розробити метод прогнозування розподілу сейсмовибухових хвиль в анізотропному масиві. Тому в подальших дослідженнях оцінку анізотропного проявлення різних типів масивів гірських порід залежно від технологічних факторів проводили з визначення розмірів границь (ізосейсм), одержаних навколо кар’єрних вибухів «ПАТ Коростенський кар'єр» за результатами апаратурних вимірів масових швидкостей коливань.

Проведені в розд. 3 експериментальні дослідження в напівпромислових умовах навколо вибуху одиночного циліндричного заряду ВР підтвердили теоретичні розрахунки та визначили викривлення полів впливу анізотропії гірського масиву не тільки на сейсмічні, але і руйнуючі параметри. Встановлені форми і розміри як зон руйнування, так і зон ізосейсм в різних типах масивів порід. Реєстрація коливань за різними напрямками дозволяла визначити масову швидкість в залежності від дирекційного кута, а за різницею перших сигналів – швидкість поширення сейсмохвиль. Також з інформації про розподіл ліній рівних енергій і частот пружних коливань навколо вибуху шпурового заряду ВР в анізотропному гірському масиві визначалися амплітудний спектр, середня швидкість сигналу і енергія сейсмоколивань. Таким чином поглинаюча дія тріщин стосовно вибухової хвилі приводить до того, що по напрямку більшої частоти тріщин руйнування порід відбувається по меншому радіусі від заряду, а в перпендикулярному навпаки. Тому геометрія зони руйнування має еліптичну форму, в якій мінімальний розмір – поперек паралельної системи тріщинуватості, а максимальний – уздовж. Але ці дослідження дозволили одержати тільки якісну оцінку взаємозв'язку анізотропії сейсмічної і руйнівної дії. Це пов'язане з тим, що при встановленні даних закономірностей застосовувалися одиночні заряди, а профілі, за якими проводились виміри сейсмоколивань, охоплювали тільки площу кар'єрного поля, а не прилеглу до нього зону охоронних об'єктів, яка б могла характеризувати її відношення до класу відповідно класифікації.

Тому для кількісної оцінки щодо зміни форм і розмірів ізосейсм залежно від властивостей масиву і параметрів вибуху проведений аналіз експериментальних даних отриманих від вимірів масових швидкостей коливань по кожному типу геолого-тектонічної структури гірського масиву, у якому перебувають охоронні об'єкти і кар'єр. При цьому був прийнятий метод виміру сейсмічних коливань по профільних лініях з установкою на кожному профілі постійних точок спостережень, які при порівнянні коливань від різних вибухів були еталонними. Визначення погрішності вимірів і кількості експериментів, проводили за допомогою апаратури і за методикою, описаною у 2-му розділі.

Перед проведенням інструментальних вимірів обстежували місця проведення підривних робіт і район навколо блоку, що підривався. Визначалася приналежність кар'єру до типу геолого-тектонічної моделі гірського масиву відповідно класифікації. У польовому журналі фіксувалися гірничо-геологічні умови родовища, визначався азимут розташування вимірювального профілю, загальна маса заряду, величина заряду в максимальній групі, приведена маса заряду, а також схеми комутації зарядів, інтервали сповільнення при КСВ та інші дані.

На відміну від напівпромислових досліджень у умовах «ПАТ Коростенський кар'єр» вимір сейсмоколивань проводили від масових вибухів із загальною масою вибухового заряду від 5 до 25 тонн. Вертикальні свердловинні заряди розміщували на блоці довжиною 20–80 м і шириною 10–50 м і підривали короткосповільнено з уповільненнями 10, 20, 35, 50, 70 мс по врубових, діагональних, порядних і поперечних схемах з'єднання. Максимальна маса миттєвого заряду, що підривається у групі, досягала 6 тонн і обмежувалась загальною масою, яка залежно від відстані до охоронних об'єктів визначалась відповідно до *додатку № 8, п. 2.3 вид. 1992 р*. ф-ла.

При кожному масовому вибуху датчики встановлювалися по профільних лініях по колу від блоку, що підривався, у зоні більше 100 м. Профілі вибирали залежно від приналежності кар'єру до типу геолого-тектонічної моделі гірського масиву відповідно класифікації, приведеній в розд. 1. При вивченні впливу анізотропії масивів гірських порід, який проявлявся в вигляді закономірно орієнтованих паралельних тріщин, профільні лінії проводили по напрямку розкритої системи тріщин і перпендикулярно їй (для I класу підкласу А і ІІ-го класу), а також по обидві сторони тектонічного порушення (для I класу підкласу Б). Характерна схема проведення експерименту, де анізотропія проявлена у вигляді закономірної системи паралельних тріщин показана на *рис. 2.7*.

З метою зручності розшифрування осцилограм і одержання більшої кількості інформації із площі у кожній точці профілю реєстрували в основному вертикальну (Z) складову масової швидкості коливань.

Обробка експериментальних даних ґрунтується на фундаментальному принципі геометричної або енергетичної подоби, виражаючи рух хвиль через приведену масу заряду *Q*1/3/*r* або приведену відстань *r/Q1*/3, що дозволяє встановити зв'язок між параметрами джерела сейсмічних хвиль і середовища, по якому розповсюджується хвиля, у функції відстані (*r*).

Вихідним матеріалом для з'ясування кореляційного зв'язку між швидкістю коливань і приведеною масою заряду був використаний закон динамічної подоби:

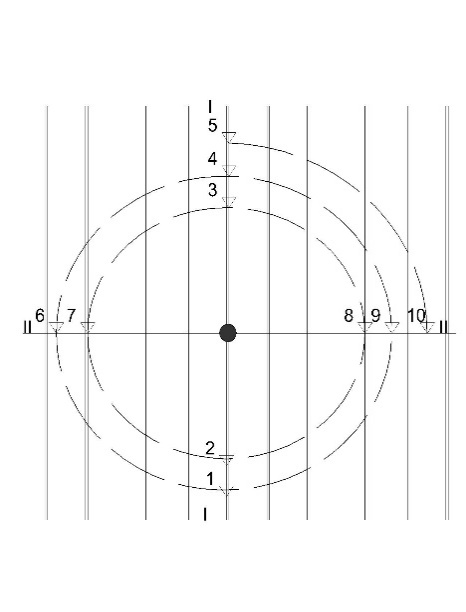
 (2.5)

де *K* – коефіцієнт пропорційності;

*Q* – маса вибухової речовини на одне сповільнення, кг;

*ν* – показник ступеня загасання;

*r* – відстань від місця вибуху до пункту спостереження (м).



**Рис. 2.7. Схема установки сейсмоприймачів   
при проведенні промислових експериментів в умовах «ПАТ Коростенський кар'єр» :**

I–I і II–II профілі установки сейсмоприймачів   
паралельно тріщинам і перпендикулярно, відповідно;   
1, 2, ..., 10 – точки установки сейсмоприймачів; ● – епіцентр

Слід відмітити, що із результатів літературного аналізу встановлено велике розмаїття для різних гірничо-геологічних умов значень коефіцієнтів пропорційності (*К*) та показника ступеня загасання (*ν*). Причому останні практично у всіх дослідженнях, в межах того самого масиву гірських порід, є постійними в різних напрямках, а контур рівних швидкостей коливань (ізосейсми) на всіх відстанях від вибуху має форму круга.

З огляду на той факт, що в дослідженнях теоретично розрахована і експериментально підтверджена практично по всіх геолого-тектонічних структурах гірського масиву наявність анізотропного прояву його у вигляді закономірної системи паралельних тріщин, в якій ізосейсми навколо вибуху трансформуються в еліптичну форму, то з метою кількісної оцінки анізотропного прояву різних типів масивів гірських порід досить установити закономірності зміни масової швидкості коливань по головних його напрямках – уздовж і поперек основної системи тріщинуватості та побудувати еліпс ізосейсм.

Дослідження розподілу сейсмовибухових хвиль навколо вибуху в умовах «ПАТ Коростенський кар'єр» з використанням інструментальних вимірів швидкостей коли­вань проводили по схемі, приведеній на *рис. 2.7,* Отримані значення масових швидкостей коливань дозволили розрахувати приведені маси заряду для кожної точки профільних ліній і по кожному класу геолого-тектонічної моделі гірського масиву. У результаті обробки даних отрима­ні значення коефіцієнта пропорційності показники ступеня загасання по напрямках для різних регіонів України. Установлені на основі формули 2.1 кореляційні залежності масової швидкості коливань від приведеної маси заряду паралельно і перпендикулярно тріщинам. В *табл. 2.1* наведені значення по формулі 2.1 коефіцієнтів в напрямках паралельному (*К*1) і (*ν*1) і перпендикулярному (*К*2) і (*ν*2) тріщинам.

*Таблиця 2.6*

**Значення коефіцієнтів в напрямках великої (*К*1) і (*ν*1)   
і малої (*К*2) і (*ν*2) осей еліпса ізосейсм в умовах «ПАТ Коростенський кар'єр»**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Регіони України | Коефіцієнт, *К* | | Показник ступеня загасання, *ν* | |
| *К*1 | *К*2 | *ν*1 | *ν*2 |
| Житомирська обл. | 1300 | 160 | 2,1 | 1,7 |

Із аналізу *табл. 2.6* видно, що показник ступеня загасання змінюється в межах від 1,7 до 2,1 а коефіцієнт пропорційності, що враховує властивості масиву, змінюється в межах від 160 до 1300. Причому для того самого типу гірських порід емпіричні коефіцієнти залежать від орієнтації вимірювального профілю стосовно тріщинуватості. Отримано максимальні значення цих коефіцієнтів паралельно тріщинам, а мінімальні – перпендикулярно.

Значення масових швидкостей коливань так само змінюються по відношенню до орієнтації тріщин в масиві (*рис. 2.8*). Аналіз *рис. 2.8* показує, що в досліджуваних масивах максимальні значення масових швидкостей коливань спостерігаються паралельно тріщинуватості (суцільні лінії), а мінімальні – перпендикулярно (пунктирні лінії).

При поширенні сейсмохвиль паралельно тріщинам хвилі на своєму шляху перетинають найменшу їхню кількість. Тому передача амплітуди масової швидкості коливань у цьому випадку відбувається як по хвилеводу і *К*1 приймає максимальні значення (пряма на *рис. 2.8*). Отже, у зазначеному напрямку буде розташована велика вісь еліпса ізосейсм.

Напрямок перпендикулярно тріщинам характеризується наявністю розкритих тріщин з більшим кутом падіння. Сейсмічні хвилі в умовах «ПАТ Коростенський кар'єр» поширюючись у цьому напрямку зустрічають на своєму шляху найбільшу кількість розкритих тріщин (границь розподілу), які є для них перешкодою. Тому перпендикулярно тріщинам значення масових швидкостей коливань будуть мінімальними (пряма на *рис. 2.8* нижче), тобто мала вісь ізосейсм збігається із цим напрямком.

|  |
| --- |
|  |

**Рис. 2.8. Графічна залежність зміни масової швидкості коливань   
в напрямках уздовж (суцільні лінії) і поперек (пунктирні лінії)   
тріщин від приведеної маси заряду ВР (кг1/3/м):**  
3, 4, 5, – граніти УКЩ в умовах «ПАТ Коростенський кар'єр

»

Зміну масових швидкостей коливань по напрямках, як і в розд. 3, ураховуємо коефіцієнтом сейсмоанізотропії *ksa = V*пар*/V*пер, який визначається, як частка значень масових швидкостей коливань, отриманих на однаковій відстані від епіцентру вибуху, по профілях уздовж *V*пар і поперек *V*пер основної системи тріщинуватості.

Приведені графіки на *рис. 2.9–2.11* зміни коефіцієнта сейсмоанізотропії *ksa* від різних факторів є свідченням того, що його значення збільшується зі збільшенням приведеної маси заряду і для гранітів досягає до 3, а для вапняків до 1,7 (*рис. 2.9*). При збільшенні маси заряду значення *ksa* збільшується, а з відстанню зменшується (*рис. 2.10*).

|  |  |
| --- | --- |
| **Рис. 2.9. Зміна коефіцієнта сейсмоанізотропії залежно від приведеної маси заряду ВР  (кг1/3 /м) у групі:**  1, 2, 3 – граніти УКЩ в умовах «ПАТ Коростенський кар'єр» | **Рис. 2.10. Залежність коефіцієнта сейсмоанізотропії від маси заряду (кг) в умовах «ПАТ Коростенський кар'єр»:**  1, 2, 3, 4 – відстані від вибуху 200, 300, 400, 500 м відповідно |

Відповідно до досліджень проведених у напівпромислових умовах, установлено, що на близьких відстанях від вибуху у спектрі коливань домінують повздовжні і поперечні короткоперіодичні хвилі, які визнача­ють анізотропію сейсмопроявів ближньої зони і довгоперіодні поверхневі хвилі, які з певної відстані визначають сейсмоанізотропію дальньої зони.

При подальшому віддаленні від місця вибуху, у міру поглинання енергії коливань на розкритих тріщинах, у спектрі як у напрямку паралельному тріщинам, так і в перпендикулярному превалюють довгоперіодні хвилі. Для поверхневих хвиль, для яких загасання в середовищі із тріщинами і без них буде однакове, інтенсивність сейсмоколивань навколо вибуху буде також однакова (*ksa*= 1), а ізосейсми приймуть круглу форму, що характеризується залежністю наведеною на *рис. 2.11, б.*

|  |  |
| --- | --- |
| *а* | *б* |
| **Рис. 2.11. Залежність коефіцієнта сейсмоанізотропії (*ksa*)**  *а* – від відстані при масі заряду в групі 2400 кг;  *б* – від відношення *λ/d*×10-3 довжини хвилі до ширини одиночної тріщини;  1 – граніти в умовах «ПАТ Коростенський кар'єр»; | |

Таким чином, співвідношення *λ/d*, при якому довжина поверхневої хвилі (*λ*) на чотири порядки більше ширини розкритої тріщини (*d*) визначає відстані, починаючи з яких ізосейсми із еліптичної форми перетворюються в округлі. Перехід з однієї форми в іншу визначається не тільки анізотропними властивостями гірського масиву і типом сейсмічних хвиль, але і параметрами, що характеризують вибух, а також відстанню до пункту спостереження.

За даними експерименту отримані емпіричні коефіцієнти для визначення коефіцієнта сейсмоанізотропії *ksa*, за кожним класом геолого-тектонічної моделі гірничого масиву. Аналіз даних *рис. 2.11,а* показує, що для гранітів 1 класу підкласу А коефіцієнти пропорційності в 3,5–3,7 рази більші порівняно з вапняками II класу геолого-тектонічної структури. На цій основі можна вважати, що вплив анізотропії, у вигляді поодиноких тектонічних розломів, характерний тільки для гранітних масивів гірських порід у порівнянні з вапняковими. Тому для гранітів I класу підкласу Б, в яких знаходиться кар’єр і прилегла до нього територія, коефіцієнт сейсмоанізотропії *ksa*, необхідно визначати по різних сторонах від тектонічного розлому. Відхилення форми ізосейсм від кола в різних геолого-тектонічних структурах місцевості гірничого масиву, в якій розташовані кар’єр і прилеглі до нього зони охоронних об’єктів, дають можливість одержати значення коефіцієнтів сейсмоанізотропії по залежності: *ksa = Кс еn*, де *Кс* і *n* емпіричні коефіцієнти, які наведені в *табл. 2.2.*

*Таблиця 2.7*

**Значення коефіцієнтів сейсмоанізотропії в умовах «ПАТ Коростенський кар'єр»**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Регіони України | Коефіцієнти | |
| *Кс* | *n* |
| *Граніти Українського кристалічного щита (УКЩ)* | | |
| Житомирська обл. | 6,5 | 0,5 |

Експериментально отриманий розподіл ізосейсм навколо вибуху для I класу підкласу А і II класу геолого-тектонічної моделі гірського масиву, в яких знаходиться кар’єр і прилегла до нього територія, зображено на *рис. 2.12.* На зображенні наведені ізолінії рівних за інтенсивністю сейсмоколивань, отримані навколо короткосповільненого вибуху зарядів ВР по кожному варіанту геолого-тектонічної моделі гірничого масиву.

Виходячи з вищевикладеного матеріалу для кар'єрів, в яких проводились дослідження, були проведені розрахунки за формулою (2.2) з урахуванням емпіричних коефіцієнтів і побудовані сейсмобезпечні границі. Останні за всіма трьома класами геолого-тектонічної структури мали еліптичну форму ізосейсм, в яку, практично, завжди попадали охоронні об'єкти (житлові будівлі, промплощадки заводів по переробці скельної продукції та ін.) Тому вплив технологічних факторів на сейсмоефект вибуху надалі необхідно вивчати з погляду зміни розмірів еліпса, що описує границі сейсмобезпечних зон.

На відміну від I і II класу геолого-тектонічної структури III клас характеризується наявністю масивів гранітних і вапнякових гірських порід на одному кар’єрі.

|  |  |
| --- | --- |
| Описание: H:\a.lazorenko\other\Новая папка\19.jpg |  |

**Рис. 2.12 Характерний розподіл ізосейсм і перехід еліптичних  
 зон ізосейсм у кругові при масових вибухах   
на кар'єрах I і II класів геолого-тектонічної моделі в умовах «ПАТ Коростенський кар'єр» (*Q* = 2400 кг)**

Для визначення розмірів сейсмонебезпечних зон і їх форм в умовах кар’єрів ІІІ-го класу необхідно одержати ізосейсми на основі сейсмометричних вимірів коливань у південній і північній азимутальних напрямках навколо вибуху.