

УДК 622.235

В.В. Бойко, д.т.н,проф., В.Г. Кравец д.т.н, проф., С.М. Стасюк, магістрант
Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ, Україна

РУЙНІВНА ТА СЕЙСМІЧНА ДІЯ ВИБУХУ В ТРІЩИНУВАТОМУ МАСИВІ

Метою досліджень є встановлення форми зони руйнувань, графічне відображення інтенсивності розвитку сейсмоефекту вибуху поодинокого циліндричного заряду у вигляді ізосейсм в залежності від вираженості явища анізотропії гірського масиву як напрямку системи магістральних тріщин.

Методика досліджень. Дослідження виконувались в напівпромислових умовах в скельних тріщинуватих породах Рокитнянського, Старо-Константинівського, Полонського гранітних кар'єрів та Скала-Подільського і Зюбрівського вапнякових кар'єрів. Прилеглі масиви кожного з гірничих підприємств, де виконувались дослідження, представлено тріщинуватими гірськими породами, в яких відсутні міжблокові і блокові порушення, а анізотропія проявляється як система закономірно орієнтованих тріщин [1, 2].

При проведенні досліджень механічного ефекту вибуху поодинокого циліндричного заряду ВР навколо шпурового заряду в межах зони, де діють хвилі пластичного типу, визначався характер руйнування методом воронкоутворення, а за межею воронки руйнування, де фіксуються пружні хвилі різної структури, - методом сейсмометрії.

Головним джерелом інформації відносно шуканих параметрів руйнування та хвильового руху і їх зміни з відстанню навколо вибуху може дати форма і розміри видимої воронки руйнування, а також експериментальний матеріал у вигляді сейсмограм, що реєструють коливання в різних азимутальних пунктах установки сейсмоприймачів для встановлення форми ізосейсм.

Для кожного шпурового заряду намічались профілі встановлення сейсмоприймачів в шпурах (рис. 1), пробурених на відстані 20-50 м від джерела вибуху по азимуту 0-360°.

Заряд ВР розміщувався у центральному шпурі глибиною 0,90-1,13 м і діаметром $d = 42$ мм. Маса заряду ВР при вибухах становила 440-830 г. Для кожного вибуху шпурового заряду навколо нього встановлювалися 7 сейсмоприймачів.

Після вибуху шпурового заряду визначались радіуси зони руйнування в напрямках установки датчиків, по яких у плані будувалися форми зони руйнування. Реєстрація коливань по різних напрямках дозволяє визначити максимальну масову швидкість залежно від дирекційного кута.

За різницею в часі отримання вступних сигналів в точках N_1-N_2 у хвилях, збуджених вибухом шпурового заряду, визначалась швидкість поширення сейсмохвиль в різних азимутальних напрямках.

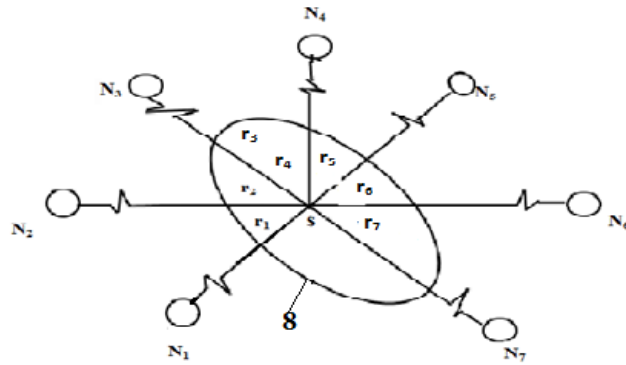


Рис.1. Схема установки сейсмоприймачів з визначення зон руйнування і ізосейсм: S - заряд; N_1, \dots, N_7 - точки установки датчиків; 8 - контур зони руйнування; r_1, \dots, r_7 - значення радіусів руйнування

Опис результатів вимірювань. За результатами вимірів на плані гірських робіт відкладалися радіуси зони руйнування, ізолінії швидкостей коливань (по осцилограмі рис. 2а) та сейсмограми (рис. 2б).

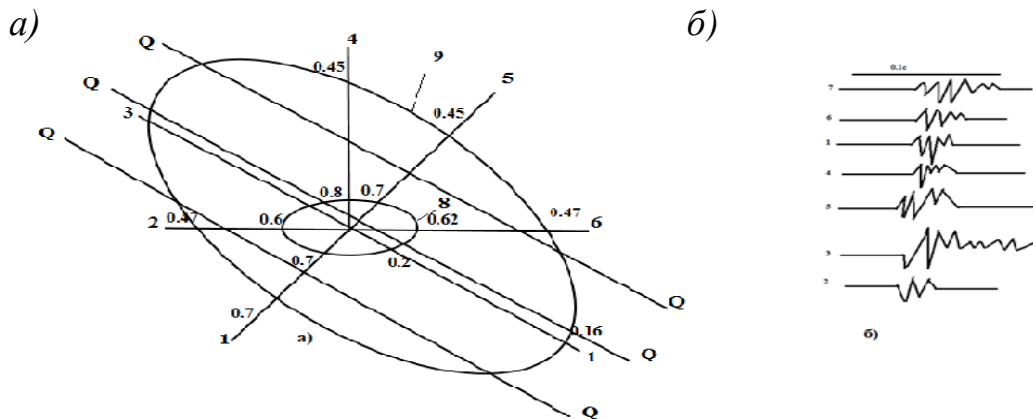


Рис. 2. Вплив тріщинуватості гранітного масиву на форму зони руйнування та ізосейсм навколо вибуху циліндричного заряду: а) взаємозв'язок воронки руйнування (8) і зони ізосейсм (9); б) сейсмограма, отримана при реєстрації коливань в напрямках 1-7 $Q-Q$ -напрямок основної системи тріщин

Для кожного вибуху шпурового заряду визначали коефіцієнт анізотропії міцності порід k_a , рівний відношенню максимального радіуса воронки руйнування (r_{max}) до мінімального (r_{min}).

З результатів експериментів слідує, що величини радіусів зони руйнування в різних напрямках суттєво відрізняються. Максимальні значення цих радіусів спостерігаються в напрямках датчиків з номерами 3 і 7, що відповідають азимутам простягання розкритих тріщин, а мінімальні - у напрямках датчиків з номерами 1 і 5, що відповідає напрямку, нормальному до системи тріщин. За даними виконаних вимірів для гранітних і вапнякових

масивів побудовано форму воронки руйнування від вибуху подовженого заряду (рис. 3.).

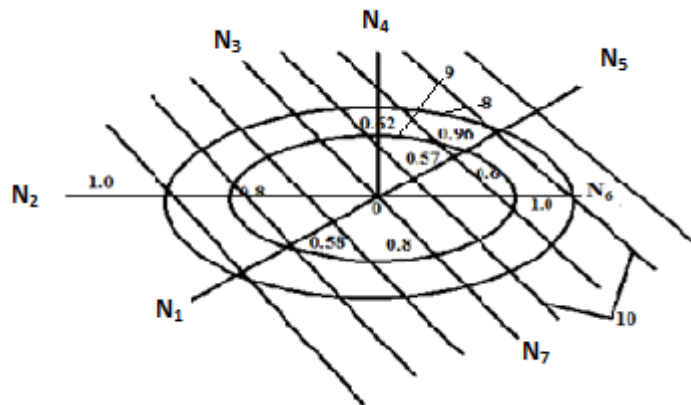


Рис. 3. Форма зони руйнування при вибуху подовженого заряду ВР масою 0,63 кг: $N_1...N_7$ – точки встановлення датчиків в напрямках 1-7, 8 і 9 – для граніту і вапняку відповідно; 10 - система тріщин; числові позначки - величини радіусів зони руйнування в метрах

Аналізуючи рис. 3, бачимо, що параметри зони руйнування при вибуху заряду ВР залежать від типу гірських порід, акустичної жорсткості і ширини тріщин. Для вапнякових порід за інших рівних умов розміри зони руйнування в 1,3 рази більше, ніж для гранітів. Зміни параметрів зон руйнувань для одного типу гірських порід свідчать про різні міцнісні властивості масиву за напрямками. Ці розходження властивостей також визначають і анізотропію щодо параметрів вибухових хвиль, на загасання яких вирішальний вплив чинять тріщини.

Обробка результатів апаратних вимірів дозволила одержати дані для кожного типу хвиль за масовими швидкостями коливань у різних профілях. За цими даними визначалося відхилення форми ізосейсм від кола, що характеризується коефіцієнтом сейсмоанізотропії κ_{sw} чисельно рівним відношенню максимальних значень масових швидкостей коливань до мінімальних, отриманих на однакових відстанях від осередку вибуху.

Поглинаюча дія тріщини стосовно вибухової хвилі приводить до того, що в напрямку більшої густини тріщин руйнування порід відбувається на меншій відстані від заряду. Тому зона руйнування має мінімальні розміри по головній осі анізотропії тріщинуватості.

Аналіз розрахункових значень коефіцієнта анізотропії міцнісних властивостей порід показує, що значення κ_a зі збільшенням тріщинуватості росте. Для гранітів значення κ_a , становить 1,2—1,4, для вапняків - 1.05-1,16.

Відхилення форми зони руйнування від кругової, отримані від вибухів поодиноких зарядів ВР, свідчить про анізотропію гірського масиву відносно його пружних властивостей. Тому справедливо припустити, що в такому масиві значення масових швидкостей коливань будуть залежати від дирекційного кута,

тобто кожний напрямок анізотропії середовища характеризується індикатрисою - просторовою фігурою, яка окреслює форму ізосейсм.

Виміри значень масових швидкостей при зміні дирекційного кута від вибуху поодинокого заряду в гранітах УКЩ і вапняках Прикарпатського даних дозволила визначити числові значення максимальної масової швидкості в семи напрямках навколо вибуху поодинокого заряду ВР.

Аналізом отриманих даних встановлено, що найбільші значення масової швидкості зареєстровані датчиками з номерами 3 і 7 (рис. 4 і 5). Чим ближче профіль до напрямку установки датчиків з номерами 1 і 5, тим менше на осцилограмах значення амплітуд швидкості і частот.

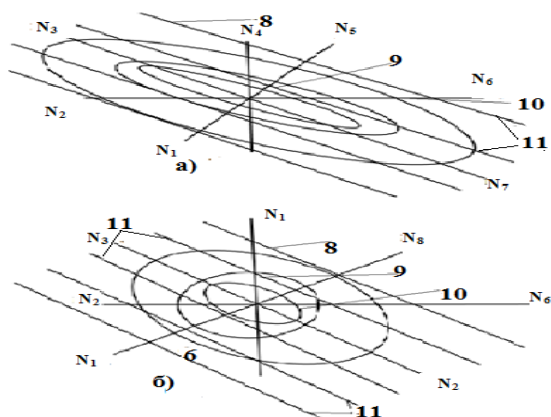


Рис. 4. Зони ізосейсм 8, 9, 10 отримані навколо вибуху подовженого заряду ВР відповідно приведеній масі заряду 0,089, 0,041 і 0,027 кг/м

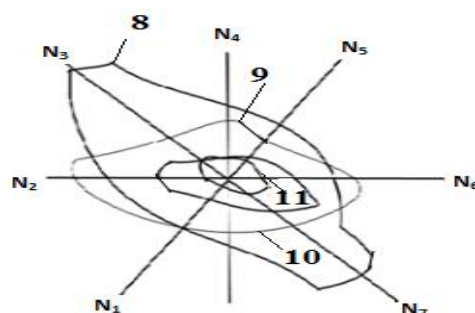


Рис. 5. Взаємозв'язок ізочастот по їх різних діапазонах з воронкою руйнування: 8-10 – ізочастоти, 11 – зона воронки руйнування.

З результатів вимірювань масових швидкостей для досліджуваних вапняків і гранітних масивів можна встановити, що для цих типів порід спостерігається розподіл максимальних значень масових швидкостей уздовж тріщин (датчики з номерами 3 і 7), а мінімальних - у напрямку, перпендикулярному їм (датчики з номерами 1 і 5). При зміні дирекційного кута в напрямку більшої частоти тріщин (перпендикулярно до тріщин) значення швидкостей коливань зменшуються. За інших рівних умов зазначений параметр хвилі залежить від густини тріщин і їх ширини. Проникність анізотропного гірського масиву в різних напрямках характеризується не лише загасанням масової швидкості коливань, але й швидкістю поширення сейсмохвиль та їх довжиною. Використовуючи взаємозв'язок швидкості поширення хвиль V з частотою коливань, визначаємо по напрямках уздовж тріщин (0°), під кутом ($\varphi - 45^\circ$) і перпендикулярно тріщинам ($\varphi = 90^\circ$) довжину хвилі (м) за діапазонами частот, які несуть максимальне навантаження.

Висновки. Дані досліджень показують, що в межах одного типу тріщинуватих гірських порід значення швидкості поширення сейсмохвиль і

частота змінюються залежно від дирекційного кута. В гранітах УКЩ значення швидкостей поширення сейсмохвиль по напрямках уздовж тріщин і перпендикулярно їм відрізняються в 2-3,8 рази, а для вапняків Прикарпатського прогину - в 1,1-1,3 рази. Збільшення швидкості поширення сейсмохвиль у напрямку уздовж тріщин і значне зменшення її перпендикулярно тріщинам ще раз переконливо підтверджує розходження провідних властивостей середовища.

Екрануюча дія тріщини стосовно сейсмічної хвилі призводить до того, що швидкість її поширення значно зменшується. Це є причиною того, що величини швидкості коливань по нормалі до тріщин приймають мінімальні значення, а тому вісь еліпса ізосейсм збігається з головним напрямком анізотропії тріщинуватості.

Лінії рівних частот коливального процесу за всіма діапазонами мають форму овалу, порівняння якого з формою ізоліній рівних масових швидкостей коливань дозволяє встановити їхній збіг в діапазоні низьких частот. Тому такі хвилі для будинків і споруд, які мають низькі власні частоти, є найнебезпечнішими, а встановлена орієнтація цих форм стосовно напрямку системи тектонічних порушень є основою для прогнозування сейсдобезпечних зон.

Встановлений на підставі наведених досліджень у напівпромислових умовах взаємозв'язок сейсмоанізотропії з анізотропією гірського масиву дозволяє поглибити знання про характер розвитку поля сейсмічних збурень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бойко В.В. Проблеми сейсмічної безпеки вибухової справи на кар'єрах України: монографія/ В.В.Бойко-К.: ТОВ «Вид-во Сталь», 2012.- 235с.
2. Кравець В.Г. Фізичні процеси прикладної геодинаміки вибуху: монографія/ В.Г.Кравець, В.В.Коробійчук, В.В.Бойко.- Житомир: ЖДТУ, 2015.- 408с.