УДК 622.235

ВПЛИВ ЧАСУ СПОВІЛЬНЕННЯ МІЖ ВИБУХАМИ СВЕРДЛОВИННИХ ЗАРЯДІВ НА ОБ'ЄМ РУЙНУВАНЬ ГІРСЬКОГО МАСИВУ

О. О. Фролов, канд. техн. наук (НТУУ «КПІ»)

Рассмотрены основные факторы, влияющие на эффективность короткозамедленного взрывания. Установлено, что при небольших интервалах замедления эффективность короткозамедленного взрывания определяется взаимодействием волн напряжений. Получена графическая зависимость между временем замедления взрывов скважинных зарядов взрывчатого вещества и объемом разрушений масива горных пород для определенных условий взрывания.

Ключевые слова: короткозамедленное взрывание, скважинный заряд, горный массив, волны напряжений, зона разрушения, объем разрушений.

Розглянуто основні фактори, що впливають на ефективність короткосповільненого підривання. Встановлено, що при незначних інтервалах сповільнення ефективність короткосповільненого підривання визначається взаємодією хвиль напружень. Отримано графічну залежність між часом сповільнення вибухів свердловинних зарядів вибухової речовини та об'ємом руйнувань масиву гірських порід для певних умов підривання.

Ключові слова: короткосповільнене підривання, свердловинний заряд, гірський масив, хвилі напружень, зона руйнування, об'єм руйнувань.

Main factors that influence the millisecond-delay blasting efficiency are considered. It is established, that at small intervals of delay the millisecond-delay blasting efficiency is determined by interaction of stress waves. Graphic dependence between the delay time of explosions the blast-hole explosive charges and volume of rock mass destructions for the certain blasting conditions is received.

Keywords: millisecond-delay blasting, blast-hole charge, rock mass, stress waves, destruction zone, volume of destructions.

Вступ. Найефективнішим способом підготовки гірничої маси до вимання на кар'єрах є короткосповільнене підривання (КСП) свердловинних зарядів вибухових речовин (ВР). У порівнянні з миттєвим підриванням КСП забезпечує можливість збільшення об'ємів руйнування гірських порід за рахунок багаторядного розташування свердловинних зарядів ВР, покращення ступеня подрібнення гірського масиву і керування параметрами розвалу гірничої маси.

Ефективність КСП пояснюється інтерференцією хвиль напружень від сусідніх зарядів ВР, дією залишкових напружень від вибуху попередньої черги зарядів, утворенням додаткових поверхонь відслонень гірського масиву та зіткненням кусків породи, що переміщуються за рахунок дії вибуху [1]. Вплив

кожного з перерахованих факторів у процесі руйнування гірських порід залежить від схем КСП, інтервалів сповільнень і властивостей гірського масиву.

Інтерференція хвиль напружень спостерігається при невеликих інтервалах сповільнень (до 10 мс) і може виникнути у тому випадку, коли напрями зсуву частинок від попереднього і подальшого вибухів збігатимуться.

Залишкові напруження відіграють важливу роль лише при руйнуванні гірського масиву вибухом свердловинних зарядів ВР секціями або чергами. При підриванні першої черги в гірському масиві створюється напружений стан, і в подальшому дія вибухів наступних черг зарядів відбувається в заздалегідь напруженому масиві, що приводить до більш інтенсивних руйнувань. Тривалість існування напруженого стану скельних порід становить 10…30 мс.

Визначальним фактором при руйнуванні масиву гірських порід за допомогою КСП є утворення додаткових поверхонь відслонень. Такі поверхні, маючи вигляд тріщин різного ступеня розкриття, відображають пряму хвилю напружень і перетворюють її в хвилю розтягнення. Масив послаблюється, і його остаточне руйнування полегшується внаслідок дії хвиль напружень і тиску газів вибуху. При руйнуванні гірського масиву порода зсувається у бік відслонених поверхонь зі збільшенням первинного об’єму.

Зіткнення кусків породи, що переміщуються завдяки дії вибуху, є також одним із факторів, який сприяє поліпшенню подрібнення при КСП. Зіткнення має місце при різних швидкостях і напрямках переміщення кусків породи. Ефективність подрібнення за рахунок зіткнення залежить головним чином від схеми КСП.

Таким чином, основні фактори, які впливають на ефективність КСП, грунтуються на дії хвиль напружень, що виникають у результаті взаємодії вибухів окремих свердловинних зарядів ВР. Тому визначення впливу інтервалу сповільнення вибухів свердловинних зарядів ВР на об’єм руйнувань гірського масиву на основі дії хвиль напружень є актуальним.

В роботі [2] автором була виконана спроба встановити вплив інтервалу сповільнень на характер та об’єм руйнувань гірського масиву. Було виявлено, що в межах досліджуваної ділянки часу (0…18 мс) з заданим інтервалом сповільнення (0,1 мс) коливання чисельних значень об’ємів незначні (близько 1,1 %) і не можуть істотно впливати на показники ефективності КСП (в даному випадку об’єм руйнувань). Проте було зазначено, що при розгляді значень об’ємів руйнування в діапазоні часу сповільнення від 0,7 до 1,0 мс об’єм спочатку поступово зменшується, а потім різко підвищується в межах 0,9 мс з подальшим різким зменшенням до найменшого значення.

Постановка задачі. Аналіз результатів досліджень в [2] показує, що при незначних сповільненнях між підриванням поруч розташованих свердловинних зарядів ВР ефективність КСП визначається взаємодією хвиль напружень, які утворюються під час вибуху кожного з зарядів. Оскільки дія хвиль напружень на гірський масив зумовлює форму, розміри і об’єм зони руйнування від вибуху системи свердловинних зарядів, то за критерій оцінювання ефективності КСП візьмемо найбільший об’єм руйнувань масиву гірських

порід. Тому задачею досліджень є встановлення впливу часу сповільнення між свердловинними зарядами ВР для певних умов підривання на об'єм руйнувань масиву гірських порід.

Викладення матеріалу та результати досліджень. Для реалізації поставленої задачі дослідження використаємо метод, розглянутий в роботах [3, 4], який грунтується на встановленні значень напружень, що утворюються при вибуху двох свердловинних зарядів ВР. Розраховані напруження порівнюються з критичними напруженнями руйнування гірської породи (межею міцності на стискання і розтягнення). Якщо вони перевищують критичні значення, масив гірської породи вважається зруйнованим. Повний об'єм руйнування при вибуху системи свердловинних зарядів визначається шляхом додавання зруйнованих елементарних об'ємів.

Отримання чисельних значень об'ємів руйнування здійснюється за допомогою розрахункової програми, описаної в [5]. Основними вихідними даними для розрахунку є: відстань між свердловинами – 5 м; довжина заряду – 15 м; діаметр свердловини – 200 мм; тип ВР – грамоніт 79/21; щільність заряджання грамоніту 79/21 – 950 кг/м^3; швидкість детонації ВР – 3600 м/с.

Короткосповільнене підривання свердловинних зарядів ВР відбувається в магнетитових кварцитах щільністю ρ = 3100 кг/м^3. Критичне значення напруження руйнування на розтягнення становить σ_t = 1,8·10^7 Па; критичне значення напруження руйнування на стиснення σ_c = 1,9·10^8 Па; швидкість поширення поздовжніх хвиль у породі c_l = 5300 м/с; модуль пружності E = 8,3·10^{10} Па; коефіцієнт Пуассона ν = 0,26; ступінь затухання хвиль напружень при поширенні в гірському масиві n – 1,35.

За результатами розрахунку отримано залежність між часом сповільнення вибухів свердловинних зарядів ВР та об'ємом руйнувань масиву гірських порід (рис. 1). Аналіз залежності показує, що при інтервалі сповільнення від 0 до 0,3 мс суттєвих коливань об'єму руйнувань не відбувається. В подальшому спостерігається загальне незначне зниження об'єму до значень, менших за початкові приблизно на 1 %. Потім в інтервалі 0,8…0,94 мс відбувається різке збільшення об'єму руйнувань гірського масиву до максимального значення 1412,049 м^3, тобто на 6,5 м^3 більшого від початкового значення і на 14,61 м^3 більшого від мінімального значення в інтервалі 0…0,94 мс. Після досягнення максимального значення об'єму руйнувань при часі сповільнення 0,94 мс відбувається різке зменшення об'єму до 1384,588 м^3 при часі сповільнення між підриванням свердловинних зарядів 1,02 мс. Потім значення об'єму руйнування збільшується, знову зменшується і в подальшому переходить у режим затухання гармонійних коливань зі збільшенням часу сповільнення. Значення об'єму руйнувань гірського масиву в цьому випадку наближається до 1396,7 м^3.

На рис. 2 показано зміну форми при КСП зони руйнування на поверхні двох поруч розташованих свердловинних зарядів ВР. При сповільненні між вибухами свердловинних зарядів межа взаємодії зміщується в бік свердловинного заряду ВР, який підривається другим (рис. 2, *б*, *в*, *г*). В подальшому ця межа поступово розмивається (рис. 2, *д*, *е*), а при сповільненні

2 мс вплив хвиль напружень першого заряду на поширення хвиль напружень другого заряду повністю припиняється [2].

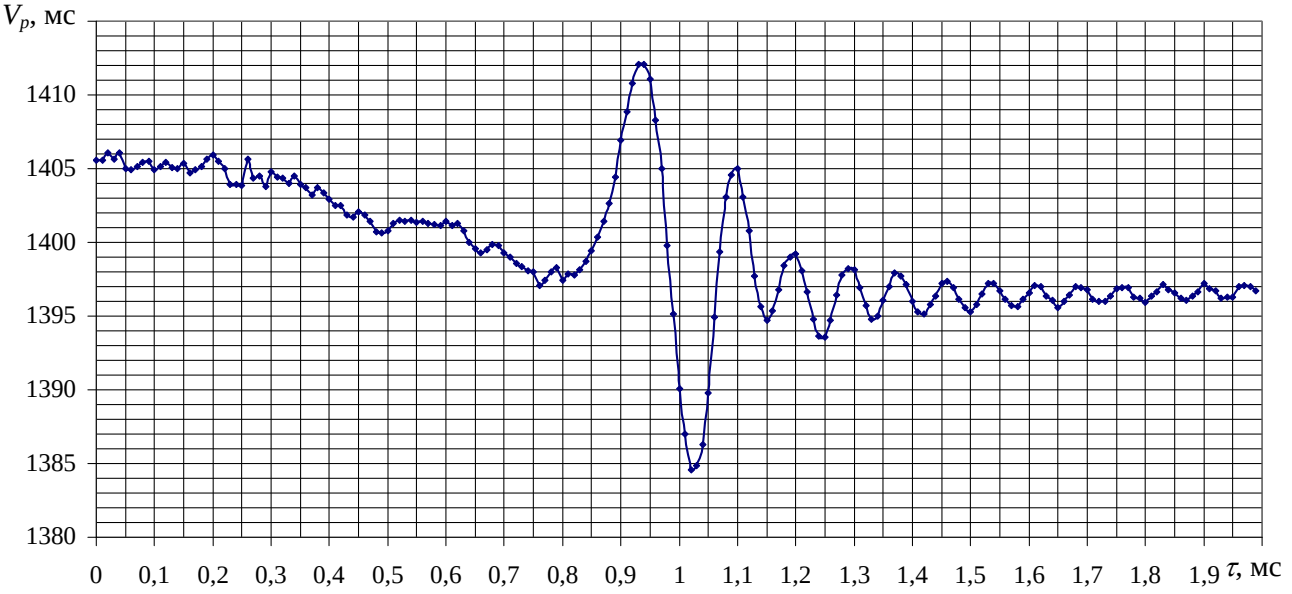


Рис. 1. Зміна об’єму руйнувань масиву гірських порід в залежності від часу сповільнення між підриванням свердловинних зарядів ВР

Чисельні значення розмірів зони руйнування на поверхні масиву гірських порід оцінювалися за квадратною сіткою, нанесеною на досліджувану поверхню, з розмірами комірки 1×1 м [5].

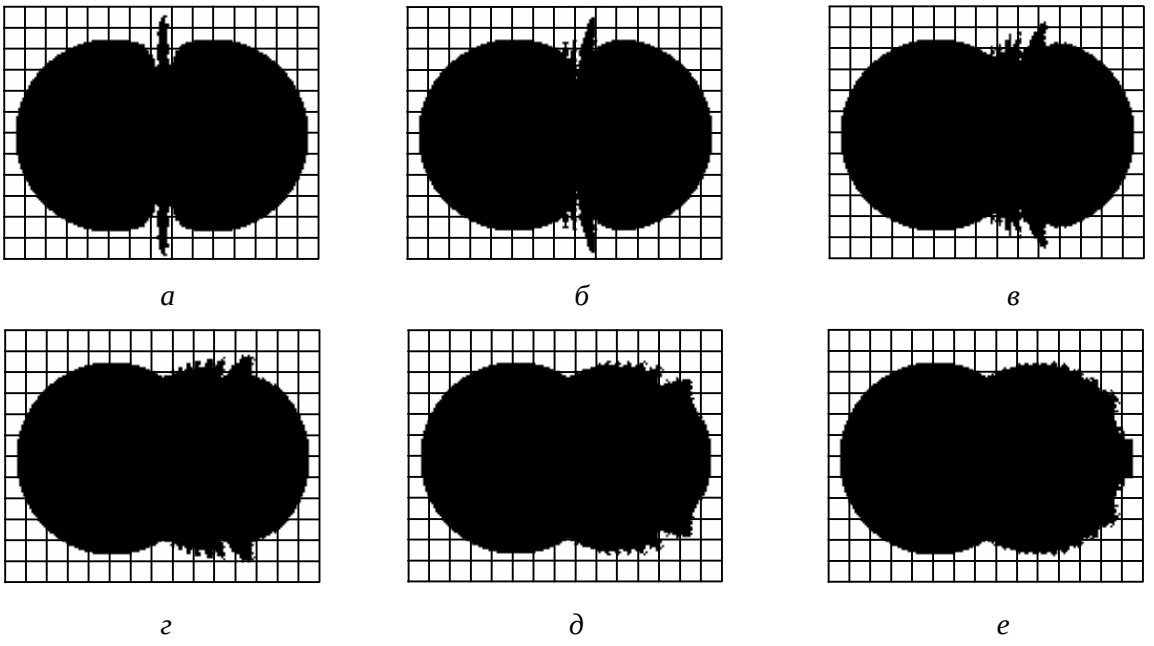
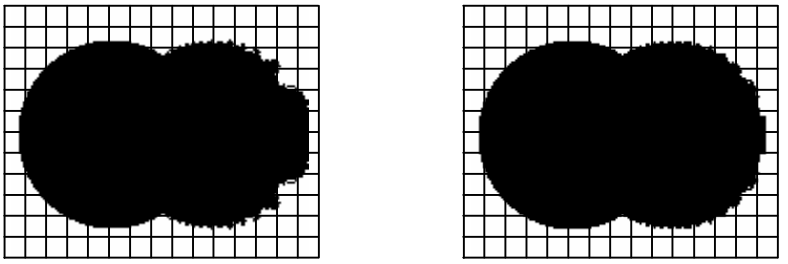


Рис. 2. Характер взаємодії зон руйнування масиву гірських порід на поверхні при короткосповільненому підриванні двох свердловинних зарядів з часом сповільнення: *а* – 0 мс; *б* – 0,2 мс; *в* – 0,4 мс; *г* – 0,6 мс; *д* – 0,8 мс; *е* – 1,0 мс

На рис. 3 показані зони руйнувань при максимальному і мінімальному значеннях об’ємів руйнувань гірського масиву, тобто при інтервалах сповільнень між вибухами свердловинних зарядів ВР 0,94 мс та 1,02 мс відповідно. Збільшення об’єму в першому випадку (рис. 3, *а*) досягається за рахунок більш інтенсивного руйнування гірського масиву в зоні вибуху свердловинного заряду ВР, який підривається зі сповільненням. Це можна пояснити інтерференцією хвиль напружень саме при цьому інтервалі сповільнення (0,94 мс) при даних умовах підривання. В другому випадку (рис. 3, *б*) зменшення об’єму руйнувань пояснюється коливальними процесами затухаючих хвиль напружень.



а *б*

Рис. 3. Зони руйнування масиву гірських порід на поверхні при короткосповільненому підриванні двох свердловинних зарядів з часом сповільнення: *а* – 0,94 мс; *б* – 1,02 мс

Висновки

1. Виявлено, що при незначних інтервалах сповільнення (кілька мілісекунд) між вибухами свердловинних зарядів ВР ефективність КСП визначається взаємодією хвиль напружень, які утворюються під час вибуху кожного з зарядів.

2. Отримано графічну залежність між часом сповільнення вибухів свердловинних зарядів ВР та об’ємом руйнування масиву гірських порід з урахуванням хвиль напружень.

3. При певних параметрах та умовах підривання існують максимальне (1412,049 м^3) і мінімальне (1384,588 м^3) значення об’ємів руйнувань для інтервалів сповільнення 0,94 мс та 1,02 мс відповідно.

Оскільки отримані результати характерні тільки для певних умов підривання, то в подальших дослідженнях необхідно провести дослідження впливу часу сповільнення між вибухами свердловинних зарядів ВР на об’єм руйнувань масиву гірських порід з іншими параметрами та виконати порівняльний аналіз отриманих результатів.

1. *Кучерявый Ф. И., Олейников А. С., Волов А. Т.* Многорядное короткозамедленное взрывание на карьерах строительных материалов. – К.: Будівельник, 1975. – 84 с.

2. *Фролов О. О.* Вплив часу сповільнення між вибухами свердловинних зарядів на характер та об’єм руйнувань масиву гірських порід // Вісник Криворізького технічного університету: Зб. наук. праць. – Кривий Ріг: КТУ – 2010. – Вип. 25. – С. 24–28.

3. *Фролов О. О.* Теоретичні передумови розрахунку об’єму руйнування гірських порід під час вибуху систем подовжених зарядів // Вісник НТУУ „КПІ”. Серія „Гірництво”: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ „КПІ”. – 2008. – Вип. 16. – С. 13–16.

4. *Фролов О. О.* Дослідження параметрів зони руйнування при вибуху системи свердловинних зарядів // Вісник Криворізького технічного університету: Зб. наук. праць. – Кривий Ріг: КТУ. – 2009. – Вип. 23. – С. 186–189.

5. *Фролов О. О.* Встановлення розмірів і форми зони руйнування при вибуху системи свердловинних зарядів // Збірник «Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва»: Науково-виробничий збірник. – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 1/2009 (3). – С. 100–105.