

**Выводы.**

1. Предложен стратегический подход к процессу годового планирования горных работ.
2. Разработана методика расчета возможных условных экономических потерь в зависимости от реализаций плана горных работ с учетом возможных стратегий процесса планирования. Это позволило реализовать обоснованное ранжирование критериев оценки этих планов.
3. Обоснован метод попарного сравнения критериев оценки годовых планов для расчета их коэффициентов важности. Полученные коэффициенты важности необходимы для дальнейшего этапа планирования горных работ, а именно для выбора рационального плана горных работ.

Список литературы

1. Резниченко С.С. Математические методы и моделирование в горной промышленности / С.С. Резниченко, А.А. Ашихмин. – М: Издательство МГГУ. – 1997. – 404 с.
2. Загубинога В.В., Панченко В.В. Аналіз методології планування гірничих робіт на залізорудних кар'єрах та шляхи її вдосконалення // Вісник Криворізького технічного університету. – 2011. – Випуск 28. – С. 271-275.
3. Панченко В.В. Перспективи розвитку концепції стратегічного управління для залізорудних кар'єрів / В.В. Панченко, В.В. Загубинога, // Матеріали міжнародної конференції “Форум гірників – 2014”. – Д.: Державний вищий навчальний заклад “Національний гірничий університет”, 2014. – С. 10-18.
4. Евланов Л.Г. Теория и практика принятия решений. – М.: Экономика, 1984. – 176 с.
5. Подиновский В.В. Качественная важность критериев и аддитивность многокритериальной структуры предпочтений // Открытое образование. – №2. – 2011. – с. 189-192.

*Рекомендована до публікації д.т.н. Собком Б.Ю.  
Надійшла до редакції 09.10.2014*

УДК 622.235

© О.О. Фролов, В.В. Котенко, Ю.О. Бритвин

**ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОТОЧКОВОГО ІНІЦІАТОРА З УРАХУВАННЯМ ФОРМУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ В СВЕРДЛОВИННОМУ ЗАРЯДІ ВР**

Обґрунтовано доцільність застосування багатоточкового способу ініціювання свердловинних зарядів для вибухового руйнування скельних гірських порід. Встановлено, що щільність енергетичного потоку при детонації свердловинного заряду прямо пропорційна сумарному імпульсу детонаційної хвилі, яка діє на стінки зарядної порожнини. Отримані розрахункові формули для визначення сумарного імпульсу багатоточкового і одноточкового ініціювання. Виконано порівняння імпульсу детонаційних хвиль послідовного та одночасного багатоточкового

ініціювання з одноточковим підриванням при різних відстанях між точками ініціювання та швидкостях поширення детонаційних хвиль по свердловинному заряду. Визначені найбільш оптимальні параметри багатоточкового ініціатора при яких досягається максимальна ефективність дії сумарного імпульсу детонаційних хвиль послідовного і одночасного багатоточкового ініціювання в порівнянні з точковим підриванням. Встановлено, що одночасне багатоточкове ініціювання свердловинних зарядів більш ефективніше ніж послідовне.

Обоснована целесообразность применения многоточечного способа инициирования скважинных зарядов для взрывного разрушения скальных горных пород. Установлено, что плотность энергетического потока при детонации скважинного заряда прямо пропорциональна суммарному импульсу детонационной волны, действующей на стенки зарядной полости. Полученные расчетные формулы для определения суммарного импульса многоточечной и однотоочечной инициирования. Выполнено сравнение импульса детонационных волн последовательного и одновременного многоточечного инициирования с однотоочечным взрывом при различных расстояниях между точками инициирования и скоростях распространения детонационных волн по скважинному заряду. Определены наиболее оптимальные параметры многоточечного инициатора при которых достигается максимальная эффективность действия суммарного импульса детонационных волн последовательного и одновременного многоточечного инициирования по сравнению с точечным взрывом. Установлено, что одновременное многоточечное инициирование скважинных зарядов более эффективнее последовательного.

Expediency of many point method of initiating explosive hole charges for fracture rock rocks. Found that the energy flux density in downhole detonation charge is directly proportional to the total pulse detonation wave that acts on the charging wall cavity. The resulting formulas to determine the total momentum and single-point-to-multipoint initiation. Comparison pulse detonation waves consecutive and simultaneous multipoint initiation with one-point explosion at different distances between the points of initiation and propagation velocity of detonation waves in hole charges. The most optimal parameters multipoint initiator under which maximizes the efficiency of the total pulse detonation waves consecutive and simultaneous multipoint initiation point compared to explosives. Established that simultaneous multipoint initiation hole charges more effective than sequential.

**Вступ.** Методи ініціювання свердловинного заряду вибухових речовин (ВР) та його вплив на характер формування енергетичних потоків досліджувався багатьма авторами. Зокрема, в роботах [1, 2] встановлено, що при ініціюванні заряду знизу напруження, яке викликає деформацію зсуву в підшві уступу, в 2 рази більше, ніж при ініціюванні зверху, а руйнування гірського масиву відбувається більш якісно. Посилення дії вибуху в будь-якому місці свердловини можна забезпечити також при двосторонньому зустрічному ініціюванні завдяки взаємодії енергетичних потоків [3]. В цьому випадку в декілька разів збільшується тиск на стінки свердловини і тим самим покращується якість подрібнення.

Дослідження вчених довели, що ініціювання циліндричних зарядів ВР лінійними ініціаторами є найефективнішим [4]. Зокрема, в роботі [5] встановлено, що при заміні проміжного промислового детонатора детонуючим шнуром, розміщеним по всій довжині заряду, ефективність вибуху збільшується на 20...30%.

Незважаючи на значну кількість запропонованих методів керування енергією вибуху, які забезпечують підвищення ефективності руйнування масиву гірських порід, багато з них або не застосовуються на виробництві внаслідок їх нетехнологічності, або застосовуються неефективно через значну втрату енергії. Для усунення вказаних недоліків рекомендується до застосування багатото-

чкове ініціювання, яке створює багатоімпульсне навантаження на стінки свердловини, що обумовлює складний напружений стан у масиві гірських порід і підвищує ефективність руйнування [6]. Чисельними дослідженнями встановлена ефективність і доцільність застосування багатоточкового ініціювання в порівнянні з традиційними методами ініціювання при підриванні свердловинних зарядів ВР [7, 8]. Воно, при відповідних параметрах, може мати переваги лінійного ініціювання, однак значно дешевше і зручніше його у застосуванні.

**Постановка проблеми та мета досліджень.** На сьогодні розроблено та запропоновано до використання декілька конструкцій багатоточкового ініціатора, визначені їхні параметри і рекомендовані різні способи розміщення проміжних детонаторів у свердловині. Однак, розглянуті конструкції свердловинного заряду не надають однозначного рішення по параметрах ініціатора, які б забезпечили максимальне значення детонаційних енергетичних потоків та їх дію на стінки свердловини. Також не обґрунтовано способи реалізації багатоточкового ініціювання та ефективності його застосування в порівнянні з точковим ініціюванням. Тому метою дослідження є формування ефективного детонаційного енергетичного потоку в заряді ВР для створення руйнуючого поля напружень в скельному масиві гірських порід.

**Викладення матеріалу досліджень.** Дослідженнями встановлено, що ефективність дії вибуху встановлюється величиною тиску на фронті детонаційної хвилі (ДХ), яка діє на стінки свердловини [9, 10]. У разі підривання свердловинного заряду ВР багатоточковим ініціатором величина імпульсу визначається ступенем взаємодії енергетичних потоків, які поширюються від кожного з проміжних детонаторів.

Згідно [11] щільність потоку енергії, що розповсюджується під час вибуху в скельному масиві гірських порід, буде визначатися добутком напруження в гірському масиві і швидкості зсуву частинок середовища. Якщо розглядати поширення енергетичного потоку в свердловинному заряді під час його детонації, то можна припустити, що щільність потоку енергії буде пропорційна тиску на фронті ДХ  $P_d$  і швидкості його розповсюдження  $D_{ВР}$ :

$$j = P_d D_{ВР} \quad (1)$$

Оскільки при визначенні ефективності дії вибуху подовженого заряду ВР порівнюють питомий імпульс на стінки зарядної порожнини, то (1) можна представити у вигляді

$$j = \frac{I}{t} D_{ВР}, \quad (2)$$

де  $I$  – сумарний імпульс детонаційних хвиль від точкових проміжних детонаторів, які досягли стінок свердловини;  $t$  – час дії тиску на стінки свердловини.

Таким чином, можна відзначити, що щільність енергетичного потоку при детонації заряду прямо пропорційна сумарному імпульсу ДХ, який діє на стінки свердловини.

Для визначення раціональних параметрів багатоточкового ініціатора, а саме, оптимальної відстані між бойовиками, визначимо збільшення сумарного імпульсу ДХ, діючої на стінки свердловини, від двох проміжних детонаторів, розміщених на певній відстані один від одного, в порівнянні з імпульсом ДХ від одного детонатора [12].

Припустимо, що сумарне значення імпульсу ДХ від багатоточкового ініціатора по довжині свердловини залежить від відстані між детонаторами і послідовності їх підривання (рис. 1).

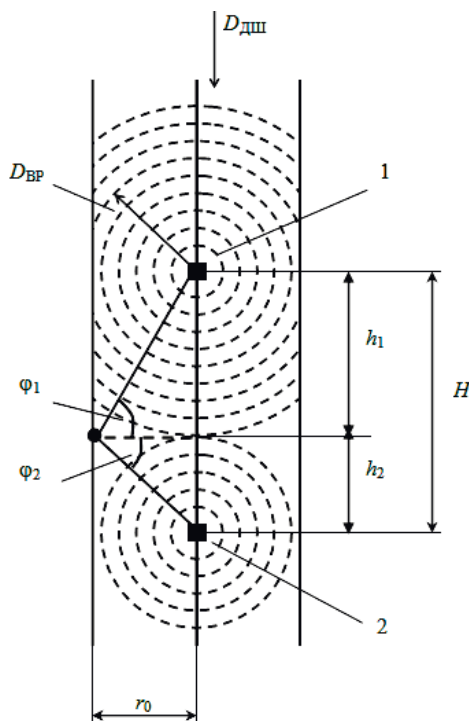


Рис. 1. Схема до розрахунку сумарного імпульсу при багатоточковому послідовному ініціюванні

Тоді відповідно до [10] імпульс ДХ, яка падає на перешкоду під кутом  $\varphi$ , дорівнює

$$i_{\varphi} = i_n (\cos^2 \varphi + \beta \sin^2 \varphi) \quad (3)$$

де  $i_n$  – питомий імпульс при  $\varphi = 0$ ;  $\beta$  – параметр, який залежить від властивостей продуктів детонації (показника ізоентропи  $\gamma$ ).

Оскільки мають осьову симетрію, то сумарний імпульс визначиться інтегруванням виразу (3) тільки по  $h$ :

$$I_1 = \int_0^{h_1} i_{\varphi_1} dh + \int_0^{h_2} i_{\varphi_2} dh \quad (4)$$

де  $i_{\varphi_1}$ ,  $i_{\varphi_2}$  – питомі імпульси ДХ від детонаторів 1 і 2.

Після інтегрування (4) отримаємо:

$$I_1 = i_n r_0 \left[ \begin{aligned} & \operatorname{arctg} \left( \frac{H}{2r_0} \left( 1 + \frac{D_{\text{ВР}}}{D_{\text{ДШ}}} \right) \right) + \\ & + \operatorname{arctg} \left( \frac{H}{2r_0} \left( 1 - \frac{D_{\text{ВР}}}{D_{\text{ДШ}}} \right) \right) + \\ & + \beta \left[ \frac{1}{\cos \left( \operatorname{arctg} \left( \frac{H}{2r_0} \left( 1 + \frac{D_{\text{ВР}}}{D_{\text{ДШ}}} \right) \right) \right)} + \right. \\ & \left. + \frac{1}{\cos \left( \operatorname{arctg} \left( \frac{H}{2r_0} \left( 1 - \frac{D_{\text{ВР}}}{D_{\text{ДШ}}} \right) \right) \right)} - 2 \right] \end{aligned} \right], \quad (5)$$

де  $D_{\text{ВР}}$  – швидкість поширення детонаційної хвилі по ВР, м/с;  $D_{\text{ДШ}}$  – швидкість детонації по детонуючому шнуру (ДШ), м/с;  $H$  – відстань між проміжними детонаторами, м;  $r_0$  – радіус свердловини, м.

При ініціюванні свердловинного заряду ВР одноточковим ініціатором значення імпульсу ДХ на ділянці довжиною  $H$  визначиться інтегруванням виразу:

$$I_2 = i_n \int_0^H (\cos^2 \varphi + \beta \sin \varphi) dH. \quad (6)$$

В результаті інтегрування (6) отримаємо:

$$I_2 = i_n r_0 \left[ \operatorname{arctg} \left( \frac{H}{r_0} \right) + \beta \left[ \frac{1}{\cos \left( \operatorname{arctg} \left( \frac{H}{r_0} \right) \right)} - 1 \right] \right]. \quad (7)$$

Для оцінки ефективності послідовного багатоточкового ініціювання на основі ДШ в порівнянні з одноточковим розділимо сумарний імпульс  $I_1$  (5) на імпульс  $I_2$  (7).

За результатами виконаних розрахунків побудована графічна залежність зміни відношень імпульсів послідовного багатоточкового ініціювання до одноточкового  $I_1/I_2$  при різних відстанях між точками ініціювання в багатоточковому ініціаторі  $H$  (рис. 2).

Аналіз графічних залежностей рис. 2 показує, що на сумарне значення імпульсу при багатоточковому ініціюванні істотно впливає швидкість детонації ВР, в якому розташовуються проміжні детонатори. Зокрема, зі збільшенням швидкості детонації з 2500 до 5000 м/с ефективність застосування послідовного багатоточкового ініціювання зменшується в порівнянні з одноточковим ініціюванням з 57% до 38,7%, тобто в 1,46 рази. Також слід зазначити, що зі збіль-

шенням швидкості детонації ВР збільшується також оптимальну відстань між детонаторами, відповідно з 1,09 до 2,13 м (табл. 1).

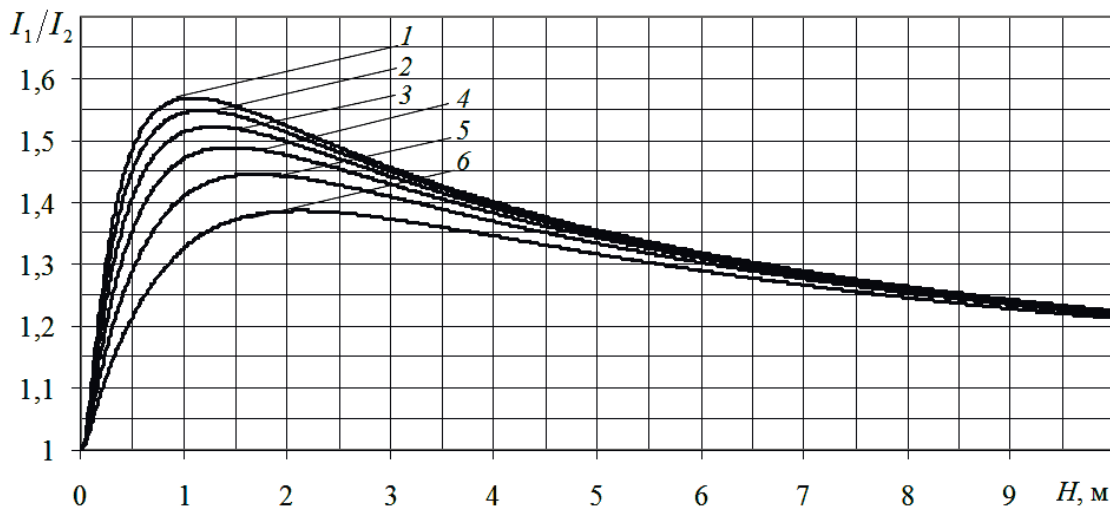


Рис. 2. Зміна відношень імпульсів  $I_1/I_2$  при послідовному багатоточковому ініціюванні в залежності від відстані  $H$  між проміжними детонаторами при  $D_{ВР}$ : 1 – 2500 м/с; 2 – 3000 м/с; 3 – 3500 м/с; 4 – 4000 м/с; 5 – 4500 м/с; 6 – 5000 м/с

Таблиця 1  
Ефективні параметри багатоточкового ініціювання в порівнянні з одноточковим

Швидкість детонації по ВР, м/с	2500	3000	3500	4000	4500	5000
Відношення $I_1/I_2$	1,57	1,549	1,523	1,49	1,446	1,387
Оптимальна відстань між проміжними детонаторами, м	1,09	1,16	1,29	1,46	1,70	2,13

Для порівняння одночасного багатоточкового ініціювання на основі неелектричних систем ініціювання з одноточковим підриванням свердловинного заряду, визначимо відношення його сумарного імпульсу  $I_3$  до імпульсу ДХ одного бойовика  $I_2$  (7) для різних відстаней між точками ініціювання  $H$ .

Сумарний імпульс ДХ від двох точкових детонаторів, що досяг стінок свердловини на відрізку  $H$ , визначимо за (3). Оскільки маємо осьову і площинну симетрію, то сумарний імпульс буде дорівнювати:

$$I_3 = 2 \int_0^h i_\phi dh . \quad (8)$$

З урахуванням переходу до інтегрування по  $\phi$  маємо

$$I_3 = 2i_n r_0 \left[ \arctg \frac{H}{2r_0} + \beta \left( \frac{1}{\cos \left( \arctg \frac{H}{2r_0} \right)} - 1 \right) \right] \quad (9)$$

За результатами виконаних розрахунків побудована графічна залежність зміни функції  $I_3/I_2 = f(H)$  (рис. 3).

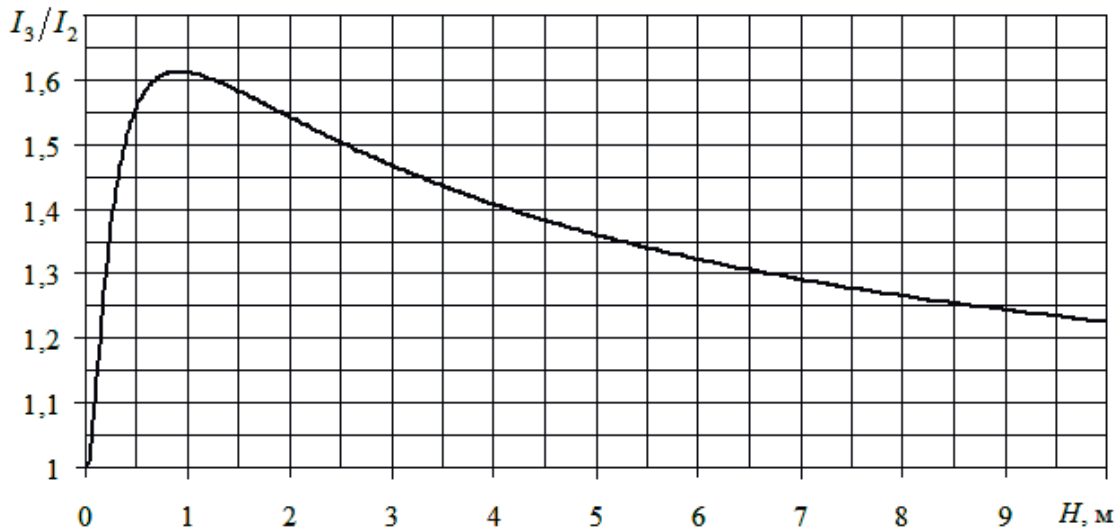


Рис. 3. Зміна  $I_3/I_2$  при одночасному багатоточковому ініціюванні в залежності від відстані  $H$  між детонаторами

Аналіз залежності (9) показує, що на сумарне значення імпульсу швидкість розповсюдження детонації по ВР не впливає. Максимальна ефективність одночасного багатоточкового ініціювання в порівнянні з одоточковим досягається при відстані між бойовиками 0,92 м і становить 61,2% (рис. 3).

Порівнюючи способи багатоточкового ініціювання, можна зробити висновок, що одночасне підривання проміжних детонаторів в ініціаторі більш ефективно, оскільки максимальне значення його ефективності на 4,2% більше ніж максимальне значення при послідовному багатоточковому ініціюванні (61,2% порівняно 57% при  $D_{ВР} = 2500$  м/с).

**Висновки.** В результаті проведених досліджень встановлено, що максимальна ефективність дії сумарного імпульсу ДХ послідовного багатоточкового ініціювання в 1,39 ... 1,57 разів більше в порівнянні з одоточковим залежно від зміни швидкості поширення детонації по ВР з 5000 до 2500 м/с відповідно. При одночасному багатоточковому ініціюванні значення сумарного імпульсу ДХ більше в 1,61 рази ніж імпульс при одоточковому підриванні незалежно від  $D_{ВР}$ . Оптимальна відстань між проміжними детонаторами послідовного багатоточкового ініціювання становить 1,1 ... 2,1 м при збільшенні  $D_{ВР}$  з 2500 до 5000 м/с, при одночасному багатоточковому ініціюванні – 0,92 м.

Список літератури

1. Петряшин Л.Ф. О зависимости поля напряжений и процесса разрушения от конструкции заряда и направления детонации / Л.Ф. Петряшин, Н.И. Мячина // Взрыв. дело. – М., 1967. – №62/19. – С. 150–156.
2. Совершенствование буровзрывных работ на железорудных карьерах / [М.Ф. Друкованый, Э.И. Ефремов, В.М. Комир и др.] – М.: Недра, 1968. – 120 с.
3. Шекун О.Г. Перераспределение энергии взрыва по длине скважинного заряда / О.Г. Шекун, В.Ф. Бызов, М.А. Волинец // Взрыв. дело. – М., 1967. – №62/12. – С. 193-198.
4. Кучерявый Ф.И. Влияние нижнего инициирования на качество взрыва / Ф.И. Кучерявый, А.В. Олейников // Разработка рудных месторождений. – К., 1968. – №5. – С. 89–92.
5. Беришвили Г. А. Об эффективности низкочувствительных ВВ при инициировании их боевиками различной конструкции/ Г.А. Беришвили, Т.Ш. Элизбарашвили // Взрыв. дело. – М., 1976. – №76/33. – С. 164-178.
6. Михалюк А.В. Горные породы при неравномерных динамических нагрузках / Михалюк А.В. – К.: Наук. думка, 1980. – 154 с.
7. Исследование эффективности действия взрыва при многоточечном инициировании удлиненных зарядов / [Сеинов Н.П., Марченко Л.Н., Жариков И.Ф., Валиев Б.С., Удачин В.Г.] // Взрыв. дело. – М., 1972. – № 71/28. – С. 102–108.
8. Воробьев В.В. Промышленные исследования эффективности многоточечного инициирования скважинных зарядов / В.В. Воробьев, В.Т. Щетинин // Проблемы создания новых машин и технологий. Научные труды КГПУ – Кременчуг, 2000. – Вып. 2/2000(9). – С. 504-506.
9. Фролов О.О., Тур С.В. Розрахунок значень тиску на фронті ударної хвилі при руйнуванні гірських порід вибухом // Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво": Зб. наук. праць. – 2009. – Вып. 18. – С. 42–47.
10. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. – Изд. 3-е, переработанное в 2 т. – Т.1 – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 832 с.
11. Фролов А.А. Применение энергетического подхода для оценки действия взрыва при разрушении скальных массивов горных пород //Материалы 9-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» – Тула: Тульский государственный университет. – 2013 – Т. 1 – С. 322-326.
12. Фролов О.О. Керування енергетичними потоками при вибуховому руйнуванні різномісних масивів гірських порід на кар'єрах / Дис. ... докт. техн. наук: 05.15.03. – К., 2014. – 369 с.

*Рекомендована до публікації д.т.н.Соболевим В.В  
Надійшла до редакції 09.10.2014*