

І.О. Копка, магістрант**В.Г. Кравець, д.т.н., проф.****О.О. Фролов, д.т.н., проф.***Національний технічний університет України "КПІ"***О.М. Клеван, асист.***Житомирський державний технологічний університет*

ОБҐРУНТУВАННЯ МІСЦЯ РОЗМІЩЕННЯ ПРОМІЖНИХ ДЕТОНАТОРІВ В СВЕРДЛОВИННОМУ ЗАРЯДІ ДЛЯ ПІДСИЛЕННЯ ДІЇ ВИБУХУ В ПІДОШВІ УСТУПУ

Розглянуто способи підсилення дії вибуху в нижній частині заряду. Обґрунтовано ефективність використання взаємодії детонаційних хвиль, що поширюються від проміжних детонаторів, на рівні підшоши уступу. Визначена умова, за якої забезпечується зустріч детонаційних енергетичних потоків в підшосві уступу. Показано, що використання штатних внутрішньо-свердловинних сповільнювачів неелектричних систем ініціювання не може забезпечити необхідні інтервали сповільнення між підриванням верхнього й нижнього проміжних детонаторів. Запропоновано, при певних значеннях місць розміщення верхнього та нижнього проміжних детонаторів в свердловинному заряді відносно рівня підшоши уступу, визначити додаткову довжину хвилеводу, необхідну для ініціювання верхнього бойовика, яка повинна залишатися на поверхні в місці з'єднання з поверхневою мережею хвилеводів. Розраховано значення додаткової довжини хвилеводу для різних швидкостей поширення детонації щодо вибухової речовини та встановлено необхідні інтервали сповільнення. Запропонована конструкція свердловинного заряду, за якої забезпечується зустріч енергетичних детонаційних потоків на рівні підшоши уступу. Доведено, що мінімальна припустима відстань верхнього і нижнього проміжних детонаторів до точки зустрічі на рівні підшоши уступу повинна встановлюватися з умови стабілізації детонаційних хвиль, які поширюються від бойовиків. За умови рівності відстаней від верхнього та нижнього проміжних детонаторів до підшоши уступу додаткова довжина хвилеводу на поверхні буде дорівнювати відстані між цими бойовиками.

Ключові слова: проміжний детонатор; детонаційна хвиля; системи ініціювання; хвилевід; свердловинний заряд; підшошва уступу.

Вступ. Постановка проблеми. При проведенні підривних робіт на кар'єрах одним з основних факторів, що визначають якість вибуху, є проробка підшоши уступу. Для підсилення дії вибуху в нижній частині заряду застосовують розширення нижньої частини свердловини, виконують підривання комбінованих зарядів і використовують ефект взаємодії детонаційних хвиль (ДХ). Перші два способи потребують значних матеріальних та грошових витрат й їх застосування не завжди можливе з технічних і технологічних причин. Особливо це стосується формування зарядів в обводнених свердловинах, коли необхідно застосовувати кошторисні водостійкі вибухові речовини (ВР).

Спосіб використання ефекту взаємодії ДХ найбільш простий й не потребує жодних додаткових витрат. Сутність його полягає в розташуванні верхнього і нижнього бойовиків таким чином, щоб детонаційні хвилі, які поширюються по ВР від цих бойовиків, зустрілися на рівні підшоши уступу. В місці їх зустрічі відбувається взаємодія енергетичних потоків від кожного з джерел детонації, що супроводжується значним підвищенням тиску. Теоретично це питання розглянуто в роботі [1], де досліджується вплив розміщення точок ініціювання на ефективність передачі енергії вибуху в напрямку, перпендикулярному лінії з'єднання цих точок. Висновки, надані в [1], підтверджуються також експериментальними даними [2]. Зокрема встановлено, що при зустрічі ДХ можливо досягти підвищення тиску в 2,6 рази в напрямку, перпендикулярному лінії з'єднання джерел утворення детонаційних хвиль.

Для перевірки можливості використання ефекту взаємодії ДХ для підсилення дії вибуху на рівні підшоши уступу були проведені промислові випробування [3, 4]. Для виключення можливості передачі детонації заряду ВР від детонуючого шнура останній ізолювали гумовим шлангом. Проведений промисловий експеримент і подальше виймання гірничої маси показали ефективність даного способу використання ефекту взаємодії енергетичних потоків. Однак промислове використання таких конструкцій заряду на час проведення експерименту було неможливе через відсутність засобів передачі детонації, які б передавали детонацію лише проміжному детонатору і не впливали негативно на основний заряд ВР.

З появою неелектричних систем ініціювання (HeCI) типу "Нонель" з'явилась можливість промислового використання ефекту взаємодії енергетичних потоків на рівні підшоши уступу [5].

Обґрунтування місця розміщення проміжних детонаторів в свердловинному заряді для підсилення дії вибуху на рівні підшоши уступу за рахунок взаємодії детонаційних хвиль є **метою** даних досліджень.

Викладення матеріалу досліджень. Для забезпечення зустрічі ДХ на рівні підшви уступу місце розміщення верхнього та нижнього проміжних детонаторів було визначено з умови рівності часу поширення цих хвиль по заряду ВР від верхнього бойовика до нижнього.

В цьому випадку зазначена вище умова матиме вигляд [4]:

$$\frac{l}{D_{\text{ВР}}} + t_{\text{сп}} = \frac{l+h}{D_{\text{ХВ}}} + \frac{h}{D_{\text{ВР}}}, \quad (1)$$

де l – відстань від верхнього проміжного детонатора до рівня підшви уступу (рис. 1), м; h – відстань від рівня підшви уступу до нижнього проміжного детонатора в свердловинному заряді, м; $D_{\text{ВР}}$ – швидкість поширення детонації по ВР, м/с; $D_{\text{ХВ}}$ – швидкість поширення детонації по хвилеводу HeCI, м/с; $t_{\text{сп}}$ – необхідний час внутрішньо свердловинного сповільнення верхнього проміжного детонатора по відношенню до нижнього, мс.

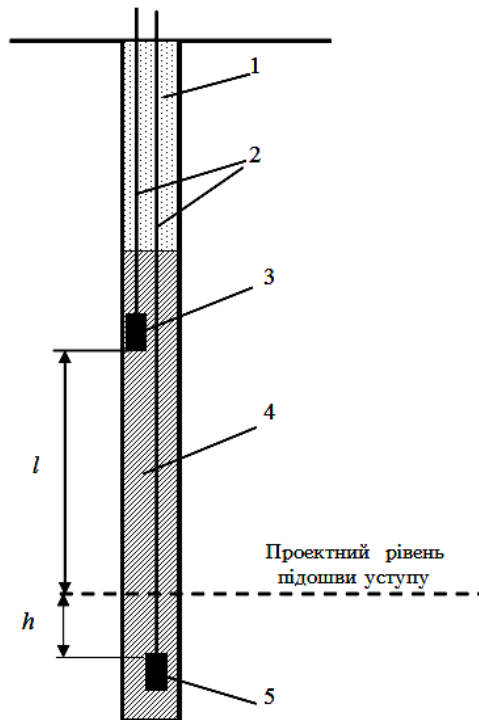


Рис. 1. Конструкція свердловинного заряду: 1 – забійка; 2 – хвилевід; 3 – верхній проміжний детонатор; 4 – ВР; 5 – нижній проміжний детонатор

Як вже зазначалося, HeCI типу “Нонель” позбавлений недоліків систем ініціювання детонуючим шнуром, оскільки ініціюючим імпульсом слугує низькошвидкісна ударна хвиля, що поширюється усередині хвилеводу. Швидкість поширення ударної хвилі по внутрішній поверхні хвилеводу становить в середньому $D_{\text{ХВ}} = 2100$ м/с. Оскільки концентрація вибухової суміші на внутрішній поверхні хвилеводу незначна, то зовнішнього енерговиділення не відбувається і промислова ВР навколо хвилеводу не вигорає [6, 7].

Неелектричні системи ініціювання “Primadet”, “СИНВ”, “Імпульс” та “Прима-Ера” за принципом дії є аналогічними системі “Нонель” (зараз “EXEL”). Аналіз технічних і експлуатаційних параметрів зазначених систем показує, що їх найменший інтервал внутрішньо-свердловинних сповільнень становить 25 мс [8, 9]. При такому сповільненні неможливо розмістити верхній і нижній бойовики таким чином, щоб досягти ефекту взаємодії енергетичних потоків детонаційних хвиль на рівні підшви уступу для свердловин, які переважно застосовуються на кар’єрах, середньою довжиною 15 м. Зокрема, якщо прийняти висоту свердловинного заряду 10 м і довжину перебуру 2 м, то при розміщенні верхнього проміжного детонатора в верхній максимально допустимій, з технологічної точки зору, частині заряду на відстані від рівня підшви уступу – $l = 7,5$ м, та розміщенні нижнього бойовика в перебури на відстані від рівня підшви уступу $h = 1,5$ м, згідно з (1) максимально можливий час сповільнення при підриванні комполайту ГС6 ($D_{\text{ВР}} = 2500$ м/с) буде дорівнювати $t_{\text{сп}} = 1,89$ мс, а при підриванні анеміксу 70 ($D_{\text{ВР}} = 5000$ м/с) – $t_{\text{сп}} = 3,1$ мс.

Таким чином, час сповільнення $t_{\text{сп}}$ повинен бути значно менший за мінімальні інтервали сповільнення усіх відомих HeCI при підриванні будь-яких ВР. У зв’язку з цим пропонується необхідні

інтервали сповільнення між ініціюванням проміжних детонаторів досягати шляхом регулювання різниці довжин хвилеводів. Оскільки

$$t_{\text{сп}} = \frac{l_{\text{дод}}}{D_{\text{ХВ}}}, \quad (2)$$

де $l_{\text{дод}}$ – додаткова довжина хвилеводу верхнього бойовика, м;
то, з урахуванням (1) та (2), значення $l_{\text{дод}}$ визначиться як:

$$l_{\text{дод}} = l + h - \frac{D_{\text{ХВ}}}{D_{\text{ВР}}}(l - h). \quad (3)$$

Отже, за фіксованих значеннях місць розміщення верхнього l та нижнього h проміжних детонаторів в свердловинному заряді відносно рівня підшви уступу для різних швидкостей поширення детонації по ВР можна встановити додаткову довжину хвилеводу, необхідну для ініціювання верхнього бойовика. Ця довжина хвилеводу повинна залишатися на поверхні в місці з'єднання з поверхневою мережею хвилеводів (рис. 2).

У таблиці 1 наведені результати розрахунку додаткової довжини хвилеводу верхнього бойовика для різних типів ВР, що застосовуються при руйнуванні скельних масивів гірських порід в умовах кар'єру ДнРУ ВАТ "Полтавський ГЗК", відповідно до (3) та значень часу максимального ступеня сповільнення між підриванням бойовиків відповідно до (2). Розрахунки виконано для найбільш сприятливих технологічних умов розміщення верхнього проміжного детонатора на відстані від рівня підшви уступу – $l = 7,5$ м, та розміщенні нижнього бойовика в перебуді на відстані від рівня підшви уступу $h = 1,5$ м.

Таблиця 1

Розрахункові значення сповільнення між підриванням проміжних детонаторів та додаткова довжина хвилеводу верхнього детонатора

Тип ВР	Швидкість детонації ВР, м/с	Додаткова довжина хвилеводу верхнього детонатора, м	Час сповільнення між підриванням бойовиків, мс
Грамоніт 79/21	3600	5,50	2,62
Анемікс 70	5000	6,48	3,09
Полімікс ГР4-Т10	3200	5,06	2,41
Полімікс ГР5-Т18	3800	5,68	2,70
Полімікс ГР-1/8	3500	5,40	2,57
Комполайт ГС-6	2500	3,96	1,89

Аналіз розрахункових даних таблиці 1 показує, що для досягнення ефекту взаємодії енергетичних потоків, які поширюються від джерел детонації, на рівні підшви уступу, необхідно зі збільшенням швидкості детонації по ВР збільшувати довжину хвилеводу верхнього проміжного детонатора від устя свердловини до місця з'єднання хвилеводів бойовиків з поверхневою мережею.

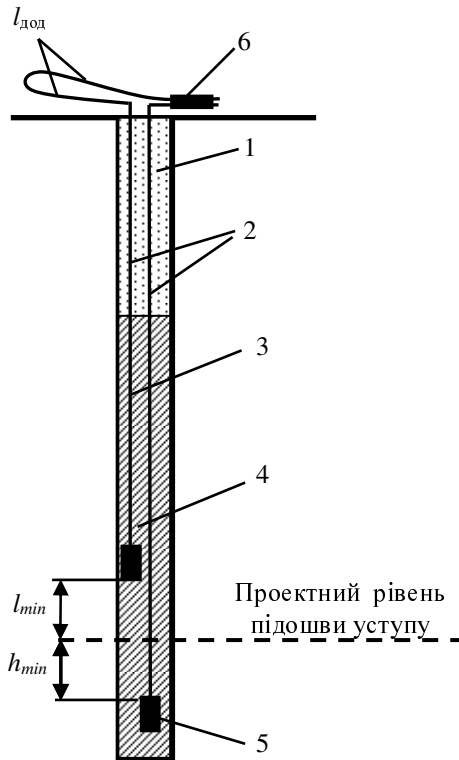


Рис. 2. Конструкція свердловинного заряду з додатковою довжиною хвилеводу на поверхні:
 1 – забійка; 2 – хвилевід; 3 – верхній проміжний детонатор; 4 – ВР;
 5 – нижній проміжний детонатор; 6 – поверхневий з'єднувач хвилеводів

Відповідно до табличних даних побудована графічна залежність між швидкістю поширення детонації по ВР та додатковою довжиною хвилеводу (рис. 3).

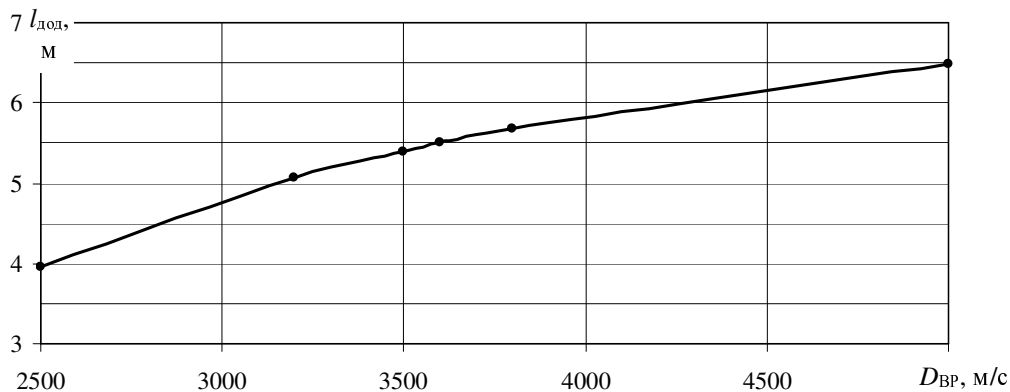


Рис. 3. Залежність між швидкістю детонації та додатковою довжиною хвилеводу при технологічних параметрах і конструкції свердловинного заряду

Аналіз графіку на рисунку 3 показує, що для взаємодії енергетичних потоків на рівні підшви уступу додаткова довжина хвилеводу повинна змінюватися від 3,96 до 6,48 м залежно від застосовуваного типів ВР, швидкість детонації яких змінюється в межах 2500–5000 м/с. Таке з'єднання на поверхні може створювати незручності при монтажі поверхневої вибухової мережі. Для того, щоб уникнути вказаних недоліків можливе розміщення проміжних детонаторів відносно рівня підшви уступу (точки зустрічі детонаційних хвиль) на мінімально припустимій відстані. Цю відстань пропонується визначати на підставі забезпечення стійкості поширення детонаційної хвилі, тобто встановлювати відстань «розгону» детонації в свердловинному заряді.

Згідно з [10], стабільність поширення детонаційної хвилі в заряді характеризується відстанню «розгону» детонації від точки ініціювання L , вираженою в діаметрах заряду d_z , яка залежить від відношення площі перерізу проміжного детонатора до площі перерізу свердловинного заряду:

$$L = \frac{86,21}{8,79 + S_{\text{від}}} \quad (4)$$

де $S_{\text{від}}$ – відносне значення площі проміжного детонатора стосовно площі перерізу свердловинного заряду, %.

При ініціюванні заряду діаметром 250 мм тротилівими шашками Т-400Г (проміжними детонаторами) діаметром 70 мм співвідношення площ перерізу проміжного детонатора та свердловинного заряду буде становити $S_{\text{від}} = 7,84$ %. Тоді відстань “розгону” детонації по заряду, згідно з (4), дорівнює $L = 5,2d_3$, тобто $L = 1,3$ м.

Таким чином, мінімально припустима відстань від рівня підшви свердловини до проміжних детонаторів буде становити 1,3 м, а саме: $l = 1,3$ м та $h = 1,3$ м. В цьому випадку, згідно з (3), додаткова довжина хвилеводу верхнього бойовика на поверхні в місці з’єднання з поверхневою вибуховою мережею хвилеводів не залежить від характеристик ВР, а буде мати постійне значення, що дорівнює відстані між проміжними детонаторами або сумі l і h , а саме $l_{\text{дод}} = 2,6$ м.

Висновки:

1. Для підсилення дії вибуху на рівні підшви уступу найбільш ефективним є використання взаємодії детонаційних енергетичних потоків, що поширюються від проміжних детонаторів.

2. Використання штатних внутрішньо свердловинних сповільнювачів неелектричних систем ініціювання не може створити необхідні інтервали сповільнення між підірванням верхнього і нижнього проміжних детонаторів для забезпечення зустрічі детонаційних хвиль на рівні підшви уступу.

3. Запропоновано для певних положень верхнього та нижнього проміжних детонаторів в свердловинному заряді відносно рівня підшви уступу визначати додаткову довжину хвилеводу, необхідну для ініціювання верхнього бойовика, яка повинна залишатися на поверхні в місці з’єднання з поверхневою мережею хвилеводів. Отримані значення додаткової довжини хвилеводу для різних швидкостей поширення детонації по ВР та встановлено необхідні інтервали сповільнення. Запропонована конструкція свердловинного заряду, за якої забезпечується зустріч енергетичних детонаційних потоків на рівні підшви уступу.

4. Мінімальна припустима відстань верхнього і нижнього проміжних детонаторів до точки зустрічі на рівні підшви уступу повинна встановлюватися з умови стабілізації детонаційних хвиль, які поширюються від бойовиків. За умов рівності відстаней від верхнього та нижнього проміжних детонаторів до підшви уступу додаткова довжина хвилеводу на поверхні буде дорівнювати відстані між цими бойовиками.

Список використаної літератури:

1. Фролов А.А. Оптимизация параметров системы скважинных зарядов для разрушения анизотропных массивов : дис. ... канд. техн. наук : 05.15.11 / А.А. Фролов. – К. : НИИОТ, 1998. – 146 с.
2. Дубынин Н.Г. Изменение давления продуктов детонации на стенки зарядной камеры / Н.Г. Дубынин, Н.Е. Труфакин // Взрывное дело. – М., 1972. – № 71/28. – С. 66–74.
3. Шекун О.Г. Перераспределение энергии взрыва по длине скважинного заряда / О.Г. Шекун, В.Ф. Бызов, М.А. Вольнец // Взрывное дело. – М., 1967. – № 62/12. – С. 193–198.
4. Фролов О.О. Використання ефекту зустрічі детонаційних хвиль для підсилення дії вибуху на рівні підшви уступу / О.О. Фролов // Вісник НТУУ “КПІ” / Серія “Гірництво” : зб. наук. пр. – 2001. – Вип. 6. – С. 63–65.
5. Фролов О.О. Перспективи використання неелектричної системи ініціювання “НОНЕЛЬ-ЮНТЕД” в умовах гірничих підприємств України / О.О. Фролов // Вісник ЖІТІ / Технічні науки. – 2001. – № 1(19). – С. 205–206.
6. НОНЕЛЬ. Инструкция по эксплуатации. Шведский институт испытаний и исследований. – 1998. – 55 с.
7. Кравець В.Г. Експериментальні дослідження експлуатаційних характеристик хвилеводу системи ініціювання типу “Нонель” / В.Г. Кравець, О.О. Фролов, А.З. Маргарян // Вісник НТУУ “КПІ” / Серія “Гірництво” : зб. наук. праць. – 2003. – Вип. 9. – С. 59–66.
8. Фролов А.А. Оценка технических и эксплуатационных параметров неэлектрической системы инициирования "Импульс" / А.А. Фролов, А.Б. Бунин // Вісник Криворізького техн. ун-ту : зб. наук. пр. – 2008. – Вип. 92. – С. 32–35.
9. Бунин О.Б. Порівняльний аналіз технічних і експлуатаційних параметрів неелектричних систем ініціювання / О.Б. Бунин, М.Т. Кириченко, О.О. Фролов // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2008. – № 2(45). – С. 57–60.

10. *Кратковский И.Л.* О надежности способов инициирования взрывчатых веществ простейшего состава при отбойке горных пород на карьерах / *И.Л. Кратковский* // Сучасні енергозберігаючі технології гірничого виробництва : зб. наук. праць. – 2009. – Вип. 2/2009(4). – С. 29–35.

КОПКА Ігор Олександрович – магістрант кафедри геобудівництва та гірничих технологій Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

- гірництво.

КРАВЕЦЬ Віктор Георгійович – доктор технічних наук, завідувач кафедри геобудівництва та гірничих технологій Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

- геомеханіка;
- вибухові роботи;
- гірництво.

ФРОЛОВ Олександр Олександрович – доктор технічних наук, професор кафедри геобудівництва та гірничих технологій Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

- вибухові роботи;
- гірництво.

КЛЕВАН Олег Миколайович – аспірант кафедри маркшейдерії Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- маркшейдерія.
- відкрита розробка родовищ корисних копалин.
- буро-вибухові роботи.

Стаття надійшла до редакції 03.11.2015