

С.В. САЖЕНЄВ, ПАТ «ПівнГЗК»,  
О.В. ШАПУРІН, д-р техн. наук, проф., Є.М. ШВЕЦЬ, канд. техн. наук,  
Криворізький національний університет

## АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ ЗАРЯДІВ ЗА УМОВ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ СХЕМ МОНТАЖУ ВИБУХОВИХ МЕРЕЖ

У викладеному матеріалі пропонується новий підхід до ініціювання зарядів у вибуховому блоці у випадку необхідності збереження об'єкту, що охороняється розташованого поблизу укосу уступу. Розглядається поставлена задача методом аналізу хвильової та кидальної дії зарядів ВР і керування цією дією у напрямку досягнення двох результатів, які першочергово протирічать одне одному. А саме, зменшити ширину розвалу у напрямку укосу уступу, який підлягає руйнуванню і здолати завищені значення опору по підшві перед першим рядом свердловин. При цьому забезпечення якісної проробки завищеного опору по підшві перед першим рядом свердловин покращується за рахунок спрямованої хвильової дії зарядів ВР із глибини вибухового блоку в режимі додавання у напрямку до укосу уступу з інтервалом сповільнення між ними 25 мс. Одночасно з цим, для зменшення ширини розвалу виконується переорієнтація кидальної дії заряду у першому ряду свердловин, який підривається останнім, за рахунок встановлення між ним і попереднім йому зарядом у другому ряду свердловин інтервалу сповільнення 176 мс. Таке технічне рішення приводить до створення перед зарядом першого ряду нової вільної поверхні, яка є конкурентом вільній поверхні укосу уступу. Оскільки відстань до нової поверхні майже в двічі є меншою, ніж до реального укосу уступу, основна частина кидальної дії заряду у першому ряду свердловин переорієнтовується у напрямок раніше підірваного заряду у другому ряду.

**Ключові слова:** ряд свердловин, напрямок укосу уступу, ініціювання зарядів.

**Проблема і її зв'язок з практичними задачами.** Перевага систем неелектричного ініціювання під час уступної відбійки гірських порід у порівнянні з ініціюванням за допомогою ДШ безсумнівна, оскільки передбачає подачу ініціюючого імпульсу з нижньої частини заряду, а не з верхньої, чим збільшує час дії вибухових навантажень на масив, на той проміжок часу, доки детонація пройде по всій довжині заряду до забивочного матеріалу. Окрім того, розділення мережі ініціювання зарядів, на дві частини, поверхневу і внутрішню свердлову, унеможливорює підбої поверхневих мереж, оскільки заряди фактично спрацьовують через інтервали від 400 до 500 мс після відпрацювання поверхневих мереж - підбивати на поверхні нічого [1-5]. У той же час, в неелектричних системах ініціювання рекомендований порядок ініціювання зарядів на уступі такий: від свердловини першого ряду, біля укосу уступу і далі вглиб з метою створити вільний простір для розміщення зруйнованого матеріалу зарядами наступних серій. Такий порядок складає проблему захисту об'єктів, що охороняються біля укосу уступу, наприклад, автошляху, трансформаторної підстанції, пункту ЦПТ, тощо. В таких випадках нам треба зменшувати заряди ВР у першому й другому рядах свердловин, що в свою чергу погіршуватиме якість подрібнення гірських порід. Окрім того, перед першим рядом свердловин часто виникає збільшений опір по підшві, за якого зменшення маси заряду вкрай небажане.

**Викладення матеріалів і результати.** У Першотравневому кар'єрі ПівнГЗК виникла проблема збереження магістральної автодороги між якою і підривним блоком був розташований крутий укіс. Зрозуміло, що велика частка вибухового розвалу від першого і другого рядів свердловин опиниться на автошляху. Виникло питання, як максимально зменшити цю частку розвалу, щоб роботи по її прибиранню мінімально зашкодили роботі кар'єру?

У вибуховому блоці № 85, гор. -160-175 м, 17.07.2015 р. було сім рядів свердловин паралельних верхній брівці уступу. Виникла ідея ініціювання зарядів із глибини вибухового блоку в напрямку укосу уступу в режимі додавання з інтервалами сповільнення 25 мс між ними з метою багаторазової дії на укосі. Коли ж черга дійде до свердловини у першому ряду, яка підриватиметься останньою у такій гілочці зарядів, то створити перед цим найближчим до укосу уступу зарядом інтервал сповільнення 176 мс. Таке технічне рішення приведе до того, що заряд розташований у другому ряду не просто направить у всі боки вибухову хвилю, він за 176 мс підніме вгору гірську породу, що його оточує. При цьому буде утворена нова вільна поверхня перед першим рядом свердловин. Ця нова вільна поверхня буде «конкурентом» реальному укосу уступу, який формує лінію опору по підшві перед першим рядом свердловин. Справа повертається так, що відстань від свердловини першого ряду буде набагато меншою до нової повер-

хні - конкурента, ніж у напрямку ЛОПП. Оскільки вибух завжди працює у напрямку найменшого опору, то роботу заряду у першому ряду буде переорієнтовано.

Кидальне зусилля заряду у першому ряду розподілиться на дві частини - у напрямку заряду у другому ряду, спрацьованого за 176 мс перед зарядом першого ряду, менша частина у напрямку ЛОПП. Слід при цьому згадати, що вибуховий імпульс по поверховій вибуховій мережі біля устя свердловини у другому ряду розповсюдився на два напрямки: один на дно заряду у другому ряду, де його чекає сповільнення 500 мс, другий до з'єднувального поверхневого блоку з інтервалом сповільнення 176 мс. Це приводить до того, що на момент спрацьовання заряду у другому ряду, поверхнева вибухова мережа біля заряду у першому ряду і внутрішньосвердлова також, окрім бойовика на дні, будуть відпрацьовані, ця мережа не може бути пошкоджена спрацюванням заряду у другому ряду. Переорієнтація кидальної дії заряду у першому ряду буде пропорційною співвідношенню відстаней від нього до нової поверхні конкурента  $W_2$ , і поверхні, що формує стандартну ЛОПП  $W_1$ , отже  $F_1 W_1 = F_2 W_2$ .

Змоделюємо ситуацію. Якщо відстань між рядами свердловин ( $W_2$ ), наприклад, дорівнює 6,5 м, а середньостатистичне значення  $W_1 = 12,73$  м, то  $F_2 = (F_1 \cdot 12,73 / 6,5) = F_1 \cdot 1,958$ .

Отже, кидальне зусилля заряду першого ряду у напрямку заряду другого ряду буде майже вдвічі більшим, ніж у напрямку ЛОПП. Мета досягнута, ми зменшуємо частку розвалу, яка випаде на магістральну автодорогу, роботи з його прибирання мінімізуються. Необхідно досягнути мети, яка є завжди перед зарядом у першому ряду свердловин - якісне здолання ЛОПП. Виявляється, що в цьому напрямку у запропонованого способу вибухової відбійки є позитивні моменти. Імпульси вибуховими хвилями від зарядів у глибині блоку спрямовувались до укусу в режимі додавання.

Хвильова вибухова дія декількох зарядів із глибини блоку у напрямку реального укусу уступу, дещо компенсує переорієнтацію подальшої дії заряду у першого ряду у напрямку заряду у другому ряду. Мета знову ж таки досягається. Але треба проаналізувати ситуацію більш досконало для реальної оцінки дії зарядів, які з глибини блоку впливатимуть на реальний укіс уступу. Для цього виконаємо аналіз параметрів вибухових хвиль у просторі вибухового блоку.

Для виконання аналізу необхідно визначити параметри спрацювання окремого заряду застосовуваної ВР Емоніту - Н [6-11].

Швидкість детонації конденсованих ВР залежить від енергії та густини ВР і визначається рівнянням

$$V_{\partial} = \sqrt{2(n^2 - 1) \cdot Q'_v \cdot A \cdot q} = 91,5 \cdot \sqrt{(n^2 - 1) \cdot Q'_v} \quad (1)$$

звідки, коефіцієнт політропи

$$n = \sqrt{\frac{V_{\partial}^2}{(91,5)^2 \cdot Q'_v} + 1} \quad (2)$$

де  $Q'_v$  - питома теплота (енергія) вибуху, ккал/кг;  $A$  - механічний еквівалент теплоти, кгм/ккал;  $q = 9,81$  м/с<sup>2</sup> - прискорення вільного падіння.

Швидкість руху продуктів вибуху (масова швидкість  $w$ , м/с) у площині Чепмена-Жуге, тобто в кінці реакції, обчислюється за формулою

$$w = (V_{\partial} / n + 1) \quad (3)$$

Тиск детонаційної хвилі в заряді на площині Чепмена-Жуге визначають за формулою

$$P_2 = \frac{V_{\partial} \cdot w \cdot \rho_0}{q} = \frac{\rho_0 \cdot V_{\partial}^2}{q \cdot (n + 1)} \quad (4)$$

де  $\rho_0$  - початкова густина ВР, кг/см<sup>3</sup>.

Густина ВР в ударній смузі та густина вибухових продуктів на площині Чепмена-Жуге

$$\rho = \rho_0 (n + 1 / n) \quad (5)$$

Розрахунки за формулами (1-5) легко виконуються, якщо є експериментально встановлені значення  $V_{\partial}$  і  $\rho_0$ . Із значенням  $\rho_0$  все ніби то просто, бо у є місткість Емоніту - Н в 1 м свердловини - 64 кг/м. За умов, що діаметр заряду в породах Першотравневого кар'єру становить 0,254 м, запишемо

$$P = \frac{3,14 \cdot 0,254^2}{4} \cdot \rho_0 = 64 \text{ кг/м}, \text{ звідки } \rho_0 = \frac{64 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,254^2} = 1263,7 \text{ кг/м}^3$$

Задекларована [1] швидкість детонації Емоніту - Н у паперовій оболонці ( $d=150$  мм) 4800-5200 м/с, а теплота вибуху 3270 кДж/кг (783 ккал/кг). Прийmemo середнє значення  $V_0=5000$  м/с.

$$\text{Тоді } n = \sqrt{\frac{25 \cdot 10^6}{8372,25 \cdot 783} + 1} = 2,194; \quad w = \frac{5000}{2,194 + 1} = 1565 \text{ м/с}; \quad P_2 = \frac{0,00126 \cdot 5000^2 \cdot 10^4}{3,194 \cdot 981} = 100533 \text{ кг/см}^2,$$

$$\text{тут } \rho_0 \text{ в кг/см}^3 \quad \rho_0 = \frac{1263,7}{1000000} = 0,00126 \text{ кг/см}^3.$$

Тиск на фронті ударної хвилі  $P_0 = 2P_2 = 201066 \text{ кг/см}^2$ . Густина вибухових газів у смузі реакції  $\rho = 1,126 \cdot \frac{2,194 + 1}{2,194} = 1,64 \text{ г/см}^3$ .

Прийmemo довжину свердловин 17,5 м в уступі 15 м, а довжину заряду 12 м (1200 см). Тоді площа поверхні заряду із двома торцями становитиме

$$S_{зар} = \pi d_{зар} \cdot l + \frac{\pi d_{зар}^2}{2} = 3,14 \cdot 25,4 \cdot 1200 + \frac{3,14 \cdot 25,4^2}{2} = 96720 \text{ см}^2.$$

Саме на цю площу створюється тиск 100533 кг/см<sup>3</sup> в процесі детонації ВР.

Розрахуємо площу вибухової хвилі на відстані 6,5 м (650 см), тобто на межі розташування сусіднього заряду, яка складається із циліндричної частини і двох півкуль у торцях  $S_2 = 2\pi \cdot 650 \cdot 1200 + 4\pi \cdot 650^2 = 10205000 \text{ см}^2$ . Тоді  $(S_2/S_{зар}) \approx 105,5$  рази зменшується тиск на 1 см<sup>2</sup> площі хвилі на відстані 650 см від заряду, він дорівнюватиме  $P_2 = (1005,33/105,5) = 952,9 \text{ кг/см}^2$ .

Розрахуємо площу хвилі на відстані 13 м від спрацьованого заряду на відстані  $2W_2$ , тобто у третьому ряду  $S_3 = 2\pi \cdot 1300 \cdot 1200 + 4\pi \cdot 1300^2 = 31023200 \text{ см}^2$ . Ця величина буде набагато більшою за початкову площу заряду ВР, а саме у:  $\frac{S_3}{S_{зар}} = \frac{31023200}{96720} = 321$  раз. Якщо спрацьований заряд

рахувати першим, тоді тиск на відстані 13 м від спрацьованого заряду, тобто у третьому ряду від нього, складе  $P_4 = \frac{100533}{321} = 313 \text{ кг/см}^2$ .

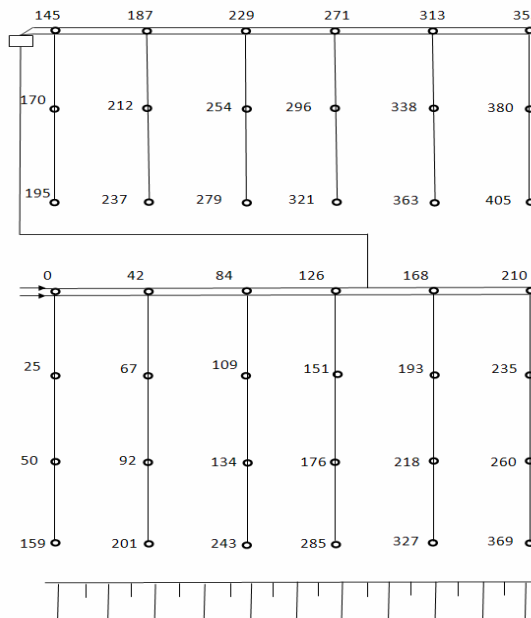


Рис. Ініціювання вибухового блоку двома групами рядів зарядів

Фактичний тиск буде меншим, бо хвиля по дорозі буде втрачати енергію на руйнування гірських порід. Більш точні розрахунки можна отримати лише експериментально.

Розрахуємо площі поверхні вибухових хвиль на відстанях 19,5 м (1952 см), 26 м (2600 см), тобто біля зарядів у четвертому і п'ятому рядах від спрацьованого.

$$S_4 = 2\pi \cdot 1950 \cdot 1200 + 4\pi \cdot 1950^2 = 62454600 \text{ см}^2;$$

$$S_5 = 2\pi \cdot 2600 \cdot 1200 + 4\pi \cdot 2600^2 = 104499200 \text{ см}^2,$$

$$\frac{S_4}{S_{зар}} = \frac{62454600}{96720} = 646 \text{ разів}, \quad \frac{S_5}{S_{зар}} = \frac{104499200}{96720} = 1080 \text{ разів}.$$

$$\text{Орієнтовний тиск } P_5 = \frac{100533}{646} = 155 \text{ кг/см}^2, \quad P_6 = \frac{100533}{1080} = 93 \text{ кг/см}^2$$

Як бачимо від заряду розташованому у глибині блоку у третьому ряду на укіс уступу буде діяти наступний питомий хвильовий тиск (313 кг/см<sup>2</sup>), а від зарядів у четвертому і п'ятому рядах ще менший (155 кг/см<sup>2</sup> і 93 кг/см<sup>2</sup>). Якщо взяти не питомий тиск, а інтегрально площу укусу уступу в зоні дії одного заряду (6,0 м по фронту укусу), то одержимо: для хвилі заряду в третьому ряду

$$(15 \times 1000 \times 100) = 900000 \text{ см}^2$$

$$\Sigma P_3 = 900000 \times 313 = 281700000 \text{ кг}$$

$$\text{Від заряду четвертого ряду } \Sigma P_4 = 900000 \times 155 = 139500000 \text{ кг}$$

$$\text{Від заряду у п'ятому ряду } \Sigma P_5 = 900000 \times 93 = 83700000 \text{ кг}$$

Слід зауважити, що наведені інтегральні навантаження діятимуть на укус не одночасно, а розвернуто у часі, коли вибухова хвиля, ковзаючись спілкується з ним.

Нами отримані загальні величини навантажень, які впливають на проробку підосви уступу. Навіть, якщо врахувати, що на шляху до укусу уступу хвилі втратили, наприклад, 15% енергії на утворення нових тріщин, хвильова дія буде дуже вагомою. Перші кроки в цьому напрямку зроблені дещо раніше [10-12]. Якщо у вибуховому блоці рядів свердлових зарядів більше, наприклад, сім, то можна підривання починати як у експериментальному блоці із останнього ряду, а можна їх об'єднувати у групи рядів, (див. рис.).

Саме так, із останнього ряду було зроблено у вибуховому блоці №85 горизонті -160/-175 м, підірваному 17.07.2015 р., нижче якого була розташована магістральна автодорога. В цьому конкретному випадку на дорогу попало менше третини тих обсягів гірських порід, які звичайно на неї попадали. Рух транспорту було відновлено протягом трьох годин.

**Висновки.** Для випадків виконання робіт, які передбачають необхідність збереження об'єкту, що охороняється, розташованого поблизу укусу уступу від зайвого розльоту кусків порід під час вибуху, запропоновано застосування інтервалів сповільнень 176 мс для свердловин розташованих у першому ряду. При цьому ініціювання зарядів розпочинається із глибини блоку, з можливістю формування рядів зарядів у групи (див. рис.).

#### Список літератури

1. Инструкция по эксплуатации системы "Нонель" / Шведский институт испытаний и исследований, 1998. – 55 с.
  2. Друкований М.Ф. Справочник по буровзрывным работам / М.Ф. Друкований, Л.В. Дубнова, Э.О. Миндели // М.: Недра, 1979.-631 с.
  3. Купрін В.П. Розробка і впровадження емульсійних вибухових речовин на кар'єрах України / В.П. Купрін, І.Л. Коваленко // Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2012.-243 с.
  4. Шапурін О.В. Промислове впровадження диференційованого енергонасичення гірських порід при підриванні / О.В. Шапурін, А.А. Скачков // Вісник КНУ, 2012. – Кривий Ріг.-Вип. 33, с. 238-240.
  5. Шапурін О.В. Математичне моделювання розповсюдження вибухової хвилі у масиві гірської породи / О.В. Шапурін, А.А. Скачков // Вісник КНУ, 2012. – Кривий Ріг.-Вип. 32, с. 10-14.
  6. Скачков А.А. Исследование взаимодействия зарядов при многорядном короткозамедленном взрывании / Горный журнал. Изв. вузов, 2014.-№5, с. 63-39.
  7. Боуден Ф. Возбуждение и развитие взрыва в твердых и жидких веществах / Ф. Боуден, А. Иоффе // М.: ИЛ. 1955.-119 с.
  8. Шапурін О.В. Руйнування гірських порід вибухом / О.В. Шапурін, П.Я. Кирик // Навч. Посібник. – К.: ІС-ДО, 1995.-280 с.
  9. Владарчак Э. Роль газовых пузырьков в инициировании детонации водонаполненных взрывчатых веществ / Успехи механики. 1985.- №2-с. 57-58.
  10. Юхансон К. Детонация взрывчатых веществ / К. Юхансон, П. Персон // М.: Мир, 1973.-352 с.
  11. Баум Ф.А. Физика взрыва / Ф.А. Баум, К.П. Станкович, Б.И. Шехтер // М.: Физмат, 1959.-800 с.
  12. Chaudzhi M.M. The role of rapidly compressed gas pockets in the initiation of condensed explosives / Lond., Proc. Royal Soc. 1974. № 974, p. 113-120.
- Рукопис подано до редакції 14.03.15