

С.М. Стовпник, ст. викл.
Національний технічний університет України «КПІ»
С.М. Гапєєв, к.т.н., доц.
Національний гірничий університет

ТЕОРЕТИЧНІ ПАРАМЕТРИ КАМУФЛЕТНОГО ВИБУХУ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ОДНОГО СПОСОБУ ЗМІЦНЕННЯ СЛАБКИХ ПОРІД ПІДОШВИ ПРОТЯЖНОЇ ВИРОБКИ

Описані результати теоретичної оцінки технологічних параметрів способу зміцнення підшоши протяжної виробки, в якій наявне здимання, вибуховим нагнітанням скріплюючого розчину.

Вступ. В гірничих виробках глибоких шахт Донецького басейну гірничий тиск частіше проявляється у вигляді здимання порід підшоши, що викликає суттєву втрату площі перетину виробок, з цим пов'язано більше половини ремонтних робіт.

Підвищення стійкості найбільш слабкої частини породного контуру виробки, де спостерігаються найбільші зрушення – в підшоші виробки, може бути досягнуто шляхом зменшення рівня напруг в породах підшоши, з одного боку, і підвищенням міцності порід – з іншого. Досягнути цього дозволяє запропонований спосіб зміцнення порід вибухонагнітанням скріплюючого розчину, що полягає в попередньому розкритті площин послаблення камуфлетним вибухом з наступним нагнітанням скріплюючого розчину тиском вибухових газів [1].

Процес руйнування крихких порід якісно відрізняється від руйнування пластичних. Як наведено в [2], в пластичних гірських породах (грунтах) головною метою вибухових робіт є ущільнення, тому корисну дію камуфлетного вибуху можна оцінювати розмірами отриманої в результаті порожнини. В крихких породах вибух – інструмент для подрібнення, тому головна мета вибуху камуфлетних зарядів в гірських породах, що мають слабку пластичність, є утворення сітки щілин. В таких умовах головний шуканий результат камуфлетного вибуху – це параметри зони руйнування в цілому, а не тільки зони витиснення. При цьому розмір котла (зони витиснення) в наших умовах також є важливим, як і розмір зони щілинуватості, тому що котел, навіть при невеликих його розмірах, також є порожниною, яка в подальшому заповнюється скріплюючим розчином при вибухонагнітання.

Метою статті є описання теоретичних параметрів камуфлетного вибуху при реалізації способу зміцнення здаймаючої підшоши протяжної виробки вибухонагнітанням скріплюючого розчину.

Головні результати. При проектуванні камуфлетного вибуху для підготовки вибухонагнітання необхідно знати:

- а) яка мінімальна глибина закладання заряду ВР, за якою виконується камуфлетність вибуху;
- б) які розміри зони руйнування (зон витиснення і щілиноутворення), отримані в результаті вибуху;
- в) який розрахунковий обсяг порожнини, що утворюється в результаті камуфлетного вибуху і буде заповнена скріплюючим розчином.

Забезпечення камуфлетності вибуху заряду.

Відповідно до [3], мінімально дозволена глибина закладання заряду ВР, за якою буде забезпечена камуфлетність вибуху, визначається з умови:

$$W_{\min} \geq 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_{BB}}{q_p \cdot e}}, \quad (1)$$

де Q_{BB} – маса заряду ВР, кг; e – перевідний коефіцієнт ідеальної роботи вибуху при використанні ВР, відмінного від амоніту № 6ЖВ; q_p – розрахункові питомі витрати амоніту № 6ЖВ на одиницю обсягу нормальної вирви вибуху, кг/м³ [3]:

для порід з $f = 3 \dots 6 - q_p = 0,4 \dots 0,5$ кг/м³;

для порід з $f = 6 \dots 8 - q_p = 0,45 \dots 0,7$ кг/м³.

Значення e , наведенні в [3], відносяться до незапобіжних ВР, застосовуваних до умов негазових шахт (скелястий амоніт, детоніт М і т.п.). При застосуванні запобіжних ВР (амоніт Т-19 і т.п.) значення перевідного коефіцієнта e визначимо із співвідношення ідеальних робіт вибуху еталонних ВР (амоніт № 6ЖВ) і прийнятої ВР:

$$e = \frac{A_{уд(6ЖВ)}}{A_{уд(i)}}, \quad (2)$$

де $A_{уд(6ЖВ)} = 3561$ кДж/кг – ідеальна робота вибуху амоніту № 6ЖВ [7]; $A_{уд(i)}$ – ідеальна робота вибуху прийнятої ВР.

Треба зазначити, що значення e для детоніту М, розраховані за формулою (2) і наведені в [3], співпадають.

Виконаємо розрахунок для стандартного патрона амоніту Т-19. Вихідні дані для розрахунку: $Q_{BB} = 250\text{--}300$ г – маса патрона $\varnothing 36$ мм [4]; $A_{уд(i)} = 2564$ кДж/кг – ідеальна робота вибуху амоніту Т-19 [4]; $f = 3$ – коефіцієнт міцності порід; $q_p = 0,4$ кг/м³ – розрахункова питома витрата амоніту № 6ЖВ на одиницю обсягу нормальної вирви вибуху для цих порід [3].

$$\text{Тоді перевідний коефіцієнт } e = \frac{A_{уд(6ЖВ)}}{A_{уд(i)}} = \frac{3561}{2564} = 1,38.$$

З врахуванням цього, мінімально дозволена глибина закладання заряду, яка забезпечує камуфлетність вибуху, для даних умов складає:

$$W_{\min} \geq 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_{BB}}{q_p \cdot e}} = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,25 \dots 0,3}{0,4 \cdot 1,38}} = 1,54 \dots 1,63 \text{ м.}$$

Радіус зони витиснення (котла).

Автори [5] пропонують наступну формулу для розрахунку радіуса зони витиснення:

$$R_k = 0,5 d_{зар} \sqrt{\Pi_{пр}}, \quad (3)$$

де $d_{зар}$ – діаметр заряду, м; $\Pi_{пр}$ – коефіцієнт прострелюваності порід, дм³/кг.

Згідно з [5], середній показник $\Pi_{пр}$ для порід V категорії міцності за БНіП, що відповідає породам з коефіцієнтом міцності $f = 2 \dots 3$, дорівнює 45 дм³/кг

Таким чином, радіус котла в породах міцністю $f = 3$ при використанні патрона амоніту Т-19 (діаметр – 36 мм; довжина – 250 мм; маса – 300 г; щільність ВР в патроні – 1100...1200 кг/м³; питома теплота вибуху – 3408 кДж/кг) складе:

$$R_k = 0,5 d_{зар} \sqrt{\Pi_{пр}} = 0,5 \cdot 0,036 \cdot \sqrt{45} = 0,12 \text{ м} = 12,0 \text{ см.}$$

Або при розрахунку від центра заряду отримаємо:

$$R_k = 0,12 + R_{зар} = 0,21 + 0,018 = 0,138 \text{ м} = 13,8 \text{ см.}$$

Для перевірки розрахуємо розмір котла за методикою Г.І. Покровського [6], який пропонує наступну формулу:

$$R_k = k_{кт} \sqrt[3]{m_{зар}}, \quad (4)$$

де $k_{кт}$ – радіус камуфлетної порожнини для 1 кг тротилу; $m_{зар}$ – маса заряду ВР.

Згідно з [6], значення $k_{кт}$ звичайно дорівнює $0,1 \dots 0,4 \text{ м}/\sqrt[3]{\text{кг}}$.

При масі заряду 0,3 кг радіус котла складе:

$$R_k = k_{кт} \sqrt[3]{m_{зар}} = 0,25 \cdot \sqrt[3]{0,3} = 0,17 \text{ м.}$$

Для подальших розрахунків приймаємо радіус зони витиснення рівним $R_k = 13,8 \dots 17,0$ см.

Згідно з [7], довжина циліндричного котла перевищує довжину заряду на $3 \dots 4 d_{зар}$, відповідно довжина котла при вибуханні патрона амоніту Т-19 складе:

$$l_{котл} = l_n + (3 \dots 4 d_{зар}) = 0,25 + (3 \dots 4 \cdot 0,036) = 0,36 \dots 0,39 \text{ м,}$$

де $l_n = 0,25$ м – довжина патрона ВР (довжина заряду); $d_{зар} = 0,036$ м – діаметр патрона амоніту Т-19.

Тоді, припускаючи, що котел – це циліндр з радіусом основи $R_k = 0,138 \dots 0,17$ м і висотою $l_{котл} = 0,36 \dots 0,39$ м, його обсяг визначиться наступним чином:

$$V_{котл} = \frac{\pi \cdot d_{котл}^2}{4} \cdot l_{котл} = \frac{3,14 \cdot (0,274 \dots 0,34)^2}{4} \cdot (0,36 \dots 0,39) = 0,022 \dots 0,035 \text{ м}^3,$$

де $d_{котл} = 2 \cdot R_k$ – діаметр котла.

Радіус зони щілиноутворення.

Автори [5] пропонують розраховувати радіус зони щілиноутворення в напрямку, перпендикулярному осі заряду, за формулою:

$$R_{T\perp} = 10d_{зар} \sqrt[3]{\frac{a}{\gamma}}, \text{ м}, \quad (5)$$

де γ – об’ємна вага порід, т/м³; a – відносна довжина заряду, що дорівнює для амоніту Т-19:

$$a = \frac{l_{зар}}{d_{зар}} = \frac{250}{36} = 6,94.$$

Радіус зони щілиноутворення в напрямку осі заряду в [5] розраховується за тією ж формулою (5) при значенні $a = 2$.

Тоді для порід з $\gamma = 2,6$ т/м³ радіус зони щілиноутворення:

– перпендикулярно осі заряду:

$$R_{T\perp} = 10d_{зар} \sqrt[3]{\frac{a}{\gamma}} = 10 \cdot 0,036 \cdot \sqrt[3]{\frac{6,94}{2,6}} = 0,5 \text{ м};$$

– в напрямку осі заряду:

$$R_{T\parallel} = 10d_{зар} \sqrt[3]{\frac{a}{\gamma}} = 10 \cdot 0,036 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,0}{2,6}} = 0,33 \text{ м}.$$

Або з врахуванням радіуса заряду $R_{зар} = 0,018$ м:

$$R_{T\perp} = 0,5 + 0,018 = 0,52 \text{ м} \quad \text{і} \quad R_{T\parallel} = 0,33 + 0,018 = 0,35 \text{ м}.$$

Тоді $R_{T\perp}/R_{T\parallel} = 0,52/0,35 = 1,485 \approx 1,5$.

Відповідно до методики Г.І. Покровського [6], радіус зони щілиноутворення пропорційний радіусу камуфлетної порожнини, розрахованому за (4), і може бути наближено визначеним із наступного співвідношення:

$$R_T \approx 4R_k. \quad (6)$$

Тоді для нашого випадку $R_T \approx 4 \cdot 0,17 \approx 0,68$ м, що близько до значення радіуса зони щілиноутворення, розрахованого за (5).

Знайдене за (6) R_T є, відповідно, радіусом зони щілиноутворення в напрямку, перпендикулярному осі заряду. Тоді, за аналогією з розрахунками за [5], з врахуванням співвідношення $R_{T\perp}/R_{T\parallel} = 1,5$, радіус зони щілиноутворення по осі заряду складе $0,68/1,5 = 0,45$ м.

Таким чином, в розглянутих умовах розмір зони щілиноутворення складе:

– в напрямку, перпендикулярному осі заряду: $R_{T\perp} = 0,52 \dots 0,68$ м;

– в напрямку осі заряду: $R_{T\parallel} = 0,35 \dots 0,45$ м.

Обсяг порожнин, отриманих при камуфлетному вибуху.

З точки зору підготовки масиву порід до вибухогнітання нас цікавить не сам радіус зони щілиноутворення, а обсяг порожнин, які можуть бути заповнені скріплюючим розчином.

В умовах присутності в масиві порід прихованих площин послаблення, вочевидь, що обсяг порожнин, утворюваних в зоні щілиноутворення, формується розширенням щілин, що розкриваються дією вибуху. Автори [8] наводять наступний вираз для визначення обсягу порожнин в зоні радіальних щілин (т.ч. в тій частині зони щілиноутворення, де з’являються щілини, цікаві нам з точки зору нагнітання в них скріплюючого розчину):

$$V_{II} = \int_{b_0}^{b_*} 4\pi r^2 e \cdot dr, \quad (7)$$

де b_0 – радіус (від центра заряду) зони щілин; b_* – радіус (від центра заряду) зони роздавлювання – ближньої до камуфлетної порожнини ділянки зони щілиноутворення; r – перемінна відстань від центра заряду до точки середовища; e – об’ємна деформація шматка породи в зоні руйнування: $e = e_r(1-2\mu)$, де e_r – радіальні деформації породи; μ – коефіцієнт Пуассона для середовища.

У [8] наводиться розв’язання даного інтегралу для матеріалів, у яких витримується співвідношення $\frac{\sigma_{сж}}{\sigma_p} = 10$, в т. ч. для гірських порід:

$$V_{II} = 1,24 \cdot \frac{\sigma_{сж}}{E} \cdot \frac{4}{3} \pi b_*^3, \quad (8)$$

де

$$b_* = R_k \left(\frac{E}{\sigma_{сж} (n+1)} \right)^{\frac{1}{n+1}}. \quad (9)$$

Тут $n = \frac{2+\Lambda}{1+\Lambda}$, де Λ – швидкість ділатансії гірської породи.

Згідно з [9], для гірських порід значення показника n звичайно дорівнюють 1,5...1,8. Тоді для порід міцністю $f=3$, для яких $\sigma_{сж}=300,0$ кг/см² і $E=2,2 \cdot 10^4$ кг/см², загальний обсяг порожнин V_{Π} в зоні радіальних щілин, що залишилися після камуфлетного вибуху одиночного заряду, за формулою (8), з врахуванням (9), при середньому значенні $\Lambda = 0,65$ [9] складе:

$$n = \frac{2+0,65}{1+0,65} = 1,61,$$

тоді

$$V_{\Pi} = 1,24 \cdot \frac{\sigma_{сж}}{E} \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot R_k^3 \cdot \left(\left(\frac{E}{2,61 \sigma_{сж}} \right)^{\frac{1}{2,61}} \right)^3, \text{ см}^3.$$

Підставивши значення $\sigma_{сж}$, E і R_k , отримаємо $V_{\Pi} = 0,009...0,018$ м³.

Таким чином, з врахуванням обсягу котла загальний обсяг порожнин, які можуть бути заповнені скріплюючим розчином, складе:

$$\sum V_{\Pi} = V_{\Pi} + V_{\text{котл}} = (0,009...0,018) + (0,022...0,035) = 0,03...0,05 \text{ м}^3. \quad (10)$$

Розглянуті вище положення стосуються камуфлетного вибуху одиночного заряду ВР. Вочевидь, що реалізація запропонованого способу боротьби із здиманням порід підосви вимагає вибухання серії шпурів з метою утворення породобетонної плити вздовж зміцнюваної ділянки виробки, яка могла б протидіяти діючим навантаженням, що викликають здимання.

Треба мати на увазі, що ступінь розкриття щілин в зоні руйнування по мірі віддалення від котла буде змінюватися: якщо в наближеній до котла частині зони руйнування розкриття щілин максимальне, то на межі зони щілини практично закриті і, відповідно, не можуть пропускати скріплюючий розчин. Це значить, що проникання розчину буде відбуватися не на повну їх довжину.

Для утворення єдиної системи щілин, здатної виконувати роль колектора для скріплюючого розчину, необхідно розташувати суміжні шпури таким чином, щоб відбувалося перекриття зон руйнування від кожного з зарядів.

Розмір перекриття повинен встановлюватися експериментальним шляхом, тому що залежить від параметрів щілин, утворюваних камуфлетним вибухом в середовищі з прихованими площинами послаблення, визначення яких аналітичним шляхом з достатньою точністю навряд чи можливе. При цьому розмір перекриття достатній, якщо при шахтних апробаціях запропонованого способу породобетонна конструкція, утворювана з виконанням даної умови, буде ефективно працювати, т. ч. буде здатна протидіяти діючим в породах підосви навантаженням, що може оцінюватися зменшенням інтенсивності здимання.

Висновки. Використання відомих методик дозволяє проектувати параметри камуфлетних зарядів, здатних формувати навколо вибухових порожнин систему наведених щілин, які можуть слугувати колектором для скріплюючого розчину при його вибуховому нагнітанні в послаблені породи підосви виробки. При цьому відстань між суміжними шпурами визначається з умови контакту або взаємного проникнення зон розповсюдження скріплюючого розчину по щілинах. Розмір перекриття зон щілиноутворення повинен встановлюватися експериментальним шляхом, при цьому критерієм достатності є працездатність породобетонної конструкції, яка може оцінюватися зменшенням інтенсивності здимання.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Пирский А.А., Стовпник С.Н. Способ борьбы с пучением почвы взрывонагнетанием вяжущего раствора // Уголь Украины. – 1990. – № 12. – С. 6–8.
2. Афонин В.Г., Гейман Л.М., Комир В.М. Справочное пособие по взрывным работам в строительстве. – К.: Будівельник, 1982. – 250 с.
3. Курузов Б.Н. Взрывные работы: Учебник для техникумов. – М.: Недра, 1988. – 383 с.
4. Росинский Н.Л., Магойченков М.А., Галаджий Ф.М. Мастер-взрывник. – М.: Недра, 1988. – 384 с.
5. Курузов Б.Н., Рубцов В.К., Валухин Ю.К., Страусман Р.Я. Проектирование взрывов: Учебное пособие. – М.: Московский горный институт, 1973. – 43 с.

6. *Покровский Г.И.* Взрыв. – М.: Недра, 1973. – 183 с.
7. *Шевцов Н.Р., Таранов П.Я., Левит В.В., Гудзь А.Г.* Разрушение горных пород взрывом: Учебник для ВУЗов. – Донецк: ООО «Лебедь», 2003. – 272 с.
8. Механический эффект подземного взрыва / В.Н. Родионов, В.В. Адушкин, В.Н. Костюченко, В.Н. Николаевский, А.Н. Ромашов, В.М. Цветков. – М.: Недра, 1971. – 224 с.
9. *Кузнецов В.М.* Математические модели взрывного дела. – Новосибирск: Наука, 1977. – 263 с.

СТОВПНИК Станіслав Миколайович – старший викладач кафедри геобудівництва і гірничих технологій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»

Наукові інтереси:

- напружено-деформований стан гірничого масиву навколо виробок;
- геомеханічні прояви поведінки гірських порід навколо виробок;
- способи керування гірничим тиском в геомасиві.

ГАПЄСВ Сергій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геобудівництва і геомеханіки Національного гірничого університету, м. Дніпропетровськ.

Наукові інтереси:

- руйнування гірських порід;
- динамічні властивості гірських порід;
- механічні ефекти вибуху в гірських породах.

Подано 15.03.2007

Теоретичні параметри камуфлетного вибуху при реалізації одного способу зміцнення слабких порід підшви протяжної виробки / Стовпник С.М., Гапеев С.М.

Описані результати теоретичної оцінки технологічних параметрів способу зміцнення підшви протяжної виробки, в якій наявне здимання, вибуховим нагнітанням скріплюючого розчину.

Теоретические параметры камуфлетного взрыва при реализации одного способа упрочнения слабых пород подошвы удлиненной выработки / Стовпник С.Н., Гапеев С.Н.

Описаны результаты теоретической оценки технологических параметров способа укрепления почвы протяженной выработки, в которой присутствует пучение, взрывным нагнетанием укрепляющего раствора.

Theoretical parameters of camuflet explosion during realization of one method of consolidating of weak breeds of sole the lengthened mine working / Stovpnik S.M., Gapeev S.M.

Results of theoretical estimation of technological parameters of an expedient of rock formation hardening of a mine working ground are described.