

урахуванням поправочного коефіцієнта K_{nop} згідно виразів (17)-(19), м

$$K_i = \sqrt{1+(3/9,9)} = \sqrt{1,303} = 1,137;$$

$$K_{nop} = K_{1g} \cdot K_{2g} \cdot K_{3g} = 1,137 \cdot 1,137 \cdot 1,137 = 1,47;$$

$$h_{ст}^n = 10,24 \cdot 1,47 = 15,05 .$$

Таким чином необхідна товщина такої стелини в заданих умовах повинна становити 15 м.

Висновки та напрямок подальших досліджень. В результаті виконаних досліджень запропонована методика визначення товщини стелин при застосуванні підземного блокового вибуговування уранових руд з відпрацюванням покладів спареними по висоті блоками. Методику у подальшому планується використати при розробленні інструктивно-методичних вказівок з визначення безпечних параметрів стелин в очисних блоках шахт ДП «СхідГЗК», де буде застосовуватись вищезазначена технологія. Визначення безпечної товщини стелин згідно запропонованої методики дасть змогу на етапі виконання проектних робіт визначити їх необхідну для конкретних умов товщину, що дозволить запобігти руйнуванню стелин, забезпечити їх стійкість і безпеку робіт, а реалізація такої технології сприятиме зменшенню собівартості видобутку уранових руд. Певне уточнення встановлених залежностей у майбутньому можливе з урахуванням практичного досвіду роботи шахт ДП «СхідГЗК».

Список літератури

1. Инструкция по обоснованию безопасных и устойчивых параметров очистных блоков на шахтах ГП «Вост-ГОК. – Желтые Воды: ГП «УкрНИПИИпромтехнологии», 2014. – 67с.
2. **Аренс В.Ж.** Геолого-гидрогеологические основы геотехнологических методов добычи полезных ископаемых / **В.Ж. Аренс , Ф.М. Гайдин.** – М.: Недра, 1978. – 215 с.
3. Добыча урана методом подземного выщелачивания: / под ред. **В.А. Мамилова.** – М.: Атомиздат, 1980. – 248с.
4. **Мосинец В.Н.** Строительство и эксплуатация рудников подземного выщелачивания / **В.Н.Мосинец, Д.П. Лобанов, М.Н. Тадеев** и др. – М.: Недра. 1987. – 304 с.
5. **Чернова А.П.** Добыча и переработка урановых руд в Украине / **А.П.Чернова., М.И. Бабак, Ю.И. Кошик, О.К. Авдеев** и др. – К.: АДЕФ-Украина, 2001. – 238 с.
6. **Мальцев Д.В.** Фізико-хімічна геотехнологія (видобуток урану): навч. посібник [Електронний ресурс] / **Д.В. Мальцев, О.Б. Владико.** - М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д. : НГУ, 2015. – 120 с.
7. **Куча П.М.** Технология подземных работ при горно-химической отработке бедных урановых руд в условиях шахт ГП «ВостГОК» / **П.М. Куча, Б.Н. Андреев** // «Форум гірників»: міжн. наук.-техн. конф. – Дніпропетровськ: РВК НГУ. – 2009. – С. 121 – 125.
8. Визначення та контроль допустимих розмірів конструктивних елементів систем розробки залізних руд. Інструкція по застосуванню / **Є. Бабець, В. Сакович, С. Сиротюк, В. Цариковський** та ін.- Кривий Ріг: Ротапринт ДП «НДГРІ», 2010. – 122с.
9. **Зубганинов В.Г.** Основы теории упругости и пластичности. – М.: «Высшая школа». 1990.
10. **Бояршинов С.В.** Основы строительной механики машин. - М.: «Машиностроение», 1973.
11. **Тимошенко С.П.** Пластинки и оболочки / **С.П.Тимошенко, С. Войновский-Кригер.** - М.: Наука, 1966. – 635с.
12. Дослідження напружено-деформованого стану гірського масиву в зоні проведення гірничих робіт, розробка алгоритму розрахунку параметрів та стійкості очисних блоків під заповненими камерами (закл. звіт по договору № 370/02 від 24.04.2017 р.) / **М.Б.Федько, М.І. Ступнік, В.О. Калініченко.** – Кривий Ріг: АГН України, КП «Академічний дім», 2017.-115с.
13. Інструкція із визначення стійкості гірських порід при проходженні гірничих виробок в умовах уранових родовищ, що розробляються ДП «СхідГЗК» / **Є.П. Чистяков, Д.С. Чистяков, О.І. Федоренко, В.І. Мошинський.** - Кривий Ріг: НДГРІ ДВНЗ «КНУ», 2012. - 28 с.

Рукопис подано до редакції 18.04.2018

УДК 622.235

О.О. ФРОЛОВ, д-р техн. наук, проф., Ю.С. МАЛЬЦЕВА, студентка
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ДІАМЕТРУ СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ З УРАХУВАННЯМ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ОЦІНКИ БУРОПІДРИВНИХ РОБІТ

Мета. Метою роботи є розробка найбільш ефективної методики визначення діаметра свердловинного заряду вибухової речовини в конкретних гірничо-геологічних умовах відпрацювання родовища.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети роботи використано метод комплексного аналізу – для узагальнення та аналізу досягнень попередніх наукових досліджень щодо встановлення найбільш раціональних діаметрів свердловинних зарядів вибухових речовин та аналітичний метод – для розробки найбільш ефективної методики визначення діаметра свердловинного заряду при проведенні буропідричних робіт на кар'єрах в конкретних

гірничо-геологічних умовах.

Наукова новизна. Наукова новизна результатів полягає в тому, що аналітичним методом отримана розрахункова формула для визначення найбільш ефективного діаметру свердловинного заряду вибухової речовини в кар'єрах на основі техніко-економічної оцінки показників буріння та підривання, а також ступеня тріщинуватості гірського масиву скельних порід.

Практична значимість. Отримані результати дозволяють для конкретних гірничо-геологічних та технологічних умов розробки родовища визначити найбільш ефективний діаметр свердловинних зарядів для ведення буропідривних робіт на гірничо-видобувному підприємстві.

Результати. Зазначено, що питання вибору ефективного діаметру свердловинного заряду вибухової речовини для руйнування скельних гірських порід на кар'єрах досліджено не повною мірою і тому існуючі методи розрахунку для однакових умов ведення буропідривних робіт надають різні значення діаметрів. Запропоновано для визначення найбільш ефективного діаметру свердловинного заряду на кар'єрах застосувати методику, яка ґрунтується на техніко-економічній оцінці показників буріння та вибуху. Отримана розрахункова формула для визначення діаметру свердловинного заряду, яка пов'язує вартісні показники буріння свердловин та підривання, а саме питомі вартості буріння свердловин та вибухових речовин з урахуванням їхнього заряджання, а також характеристику тріщинуватості гірського масиву.

Ключові слова: вибух, руйнування, діаметр свердловини, гірські породи, вибухова речовина, кар'єр.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-46-9-14

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. Однією з найважливіших наукових та практичних задач у гірничо-видобувній промисловості є управління інтенсивністю руйнування гірських порід вибухом. Її рішення забезпечує зменшення енерговитрат на вибухову відбійку, зменшення обсягу виходу переподрібнених фракцій та виходу негабариту, що обумовлюють втрату корисних копалин, та зменшення негативного впливу навколишнього середовища.

Як показує практика, підвищення інтенсивності вибухового дроблення гірських порід лише за рахунок збільшення потужності вибухових речовин (ВР) є неефективним, оскільки веде до зростання об'єму переподрібнених фракцій. Це обумовлює необхідність розробки більш раціональних способів регулювання вибухового руйнування гірських масивів, що дозволяють без збільшення енерговитрат отримати необхідне подрібнення порід [1-5]. Тому вибір раціонального діаметра свердловинного заряду, як засобу управління подрібненням гірських порід підривання, є актуальним.

Діаметр свердловинного заряду ВР визначає основні параметри буропідривних робіт. На сучасних кар'єрах застосовують свердловини діаметром від 100 до 320 мм. До теперішнього часу немає твердо усталеної думки про раціональний діаметр свердловин. Зменшення діаметра свердловин призводить до збільшення швидкості буріння. Однак при цьому продуктивність бурового верстата за загальним показником виходу гірничої маси зазвичай знижується порівняно зі свердловинами великого діаметра через зменшення питомого виходу гірничої маси. У кожному конкретному випадку доцільність застосування певного діаметру свердловини повинна перевірятися техніко-економічним розрахунком з урахуванням необхідного ступеня дроблення породи, труднощів проробки підшви уступу, продуктивності бурового і гірничо-транспортного устаткування.

Аналіз досліджень і публікацій. Для визначення раціонального діаметру свердловини при руйнуванні скельних гірських масивів проведено аналіз існуючих досліджень у даній сфері та проведено численну обробку результатів у конкретних гірничо-геологічних умовах.

Як затверджують автори роботи [6], між діаметром свердловини d і максимально допустимим розміром шматка C існує прямий зв'язок, який виражається формулою

$$d = KC, \quad (1)$$

де K – коефіцієнт пропорційності ($K=0,1$ – для важкоподрібнювальних порід, $K=0,2$ – для середньоподрібнювальних порід, $K=0,3$ – для легкоподрібнювальних порід).

Згідно [7] діаметр свердловини заряду повинен визначатися, м

$$d = \sqrt{\frac{4qWaH}{\pi\Delta(L_c - l_{\text{заб}})}}, \quad (2)$$

де q – проектна питома витрата ВР, кг/м³; a – відстань між свердловинами, м; W – лінія опору по підшві уступу, м; Δ – щільність заряджання ВР, кг/м³; L_c – глибина свердловини, м; $l_{\text{заб}}$ – довжина забійки, м.

Автори роботи [8] пропонують діаметр свердловини для заданої висоти уступу H , при якому свердловинна заповнюється ВР на 2/3 її довжини і більше, визначати за формулою, м

$$d_c = 28H \sqrt{\frac{q_p}{\Delta}}, \quad (3)$$

де H – висота уступу, м; q_p – розрахункова питома витрата ВР, кг/м³; Δ – щільність заряджання ВР, т/м³.

Відповідно до [9] діаметр вертикальних свердловин, який забезпечує нормальну проробку підшви уступу при даній висоті та куті відкосу уступу α становить, м

$$d = \frac{(H \operatorname{ctg} \alpha + c) \sqrt{\gamma}}{30(3 - m)}, \quad (4)$$

де m – коефіцієнт зближення свердловин; γ – об'ємна вага породи, кг/дм³.

Е.І. Сфремов [10] величину діаметра свердловинного заряду, що відповідає заданим умовам і конкретним значенням щільності заряду ВР пропонує визначати як

$$d = \sqrt{\frac{P}{0,785\Delta}}. \quad (5)$$

Для забезпечення заданої інтенсивності подрібнення порід діаметр свердловин, згідно норм технологічного проектування [11], повинен розраховуватися за формулою, мм

$$d = 9H + 35,5 K_p + 33,5 F - 195, \quad (6)$$

де H – висота уступу, м; K_p – коефіцієнт розпушення підірваної гірничої маси; F – група ґрунтів за СНіП.

Діаметр свердловини, що відповідає умовам рівності продуктивності бурового станка та екскаватора [12], становить, мм

$$d = 100 \sqrt{E}, \quad (7)$$

Також вчені рекомендують визначати діаметр заряду, при якому максимально використовується об'єм свердловин, м

$$d = \frac{H}{K_{\text{заб}} + 40 - K_{\text{пер}}}, \quad (8)$$

де H – задана висота уступу, м/с; $K_{\text{заб}}$ – відносна довжина набійки, виражена в діаметрах заряду (коефіцієнт забійки); $K_{\text{пер}}$ – відносна глибина перебуру, виражена в діаметрах заряду.

В роботі [13] для конкретних гірничо-геологічних та технологічних умов розробки виконано розрахунок діаметрів свердловин при веденні буропідричних робіт на кар'єрах за усіма відомими формулами. Умовно прийнято, що свердловинні заряди грамоніту 79/21 підриваються в середньотріщинуватих гранітах. Висота уступу $H = 13$ м, глибина свердловини $L_c = 15$ м, довжина забійки $l_{\text{заб}} = 5$ м, питома витрата ВР $q = 0,9$ кг/м³, щільність заряджання ВР $\Delta = 950$ кг/м³, лінія опору по підшві уступу $W = 6$ м.

Аналіз отриманих даних показав, що величина діаметрів свердловин для однакових умов застосування коливається від 105 до 337 мм. Цей діапазон містить усі типорозміри бурових коронок на станках, що застосовуються в Україні. За отриманими значеннями навіть неможливо визначити певну закономірність вибору діаметра свердловинного заряду, тобто можна стверджувати, що розрахунок "наосліп" є свідомо невірним.

Постановка завдання. Виконавши аналіз вищезазначених наукових робіт можна дійти висновку, що питання вибору ефективного діаметру свердловинного заряду ВР для руйнування скельних гірських порід на кар'єрах досліджено не повною мірою, оскільки існують різні підходи і, відповідно, отримуються різні результати. Тому метою роботи є розробка найбільш ефективної методики визначення діаметра свердловинного заряду в конкретних гірничо-геологічних умовах відпрацювання родовища.

Викладення матеріалу та результати. Для визначення найбільш ефективного діаметру свердловинного заряду на кар'єрах запропоновано застосувати методику, яка ґрунтується на техніко-економічній оцінці показників буріння та підривання [14,15].

При подрібненні скельних гірських порід вибухами свердловинних зарядів ВР різного діаметру розглянемо лише витрати на буріння та підривні роботи, вважаючи витрати по іншим

технологічним процесам є постійними.

Загальні питомі витрати на буропідривні роботи, грн

$$C_{\text{БПР}} = C_{\text{Б}} + C_{\text{ПР}}, \quad (9)$$

де $C_{\text{Б}}$ – питомі витрати на буріння свердловин, грн/м³; $C_{\text{ПР}}$ – питомі витрати на підривні роботи, грн/м³.

Витрати на буріння гірських порід, грн

$$C_{\text{Б}} = \frac{c_{\text{бур}}}{B}, \quad (10)$$

де $c_{\text{бур}}$ – експлуатаційні витрати на буріння 1 м свердловин, грн/м; B – вихід гірничої маси з 1 м свердловини, м³.

Вихід гірничої маси з 1 м свердловини з урахуванням коефіцієнту використання свердловини становить

$$B = k_{\text{в}} \frac{p}{q}, \quad (11)$$

де $k_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання свердловини (для середніх умов $k_{\text{в}}=0,65-0,75$); p – місткість свердловини, кг

$$p = \frac{10^{-6} \pi d_3^2 \Delta}{4}, \quad (12)$$

де d_3 – діаметр свердловинного заряду, мм; Δ – щільність зарядження ВР в заряді, кг/м³.

Витрати на підривні роботи, грн

$$C_{\text{ПР}} = c_{\text{ВР}} q, \quad (13)$$

де $c_{\text{ВР}}$ – вартість 1 кг ВР з урахуванням додаткових витрат на зарядження, грн/кг; q – розрахункова питома витрата ВР, кг/м³.

Формула для визначення питомої витрати ВР в залежності від діаметра свердловинного заряду [14] має вигляд, кг/м³

$$q = q_{\text{р}} (0,6 + 3,3 \cdot 10^{-3} d_0 d_3) k_{\text{п}}, \quad (14)$$

де $q_{\text{р}}$ – розрахункова питома витрата ВР для руйнування гірського масиву на шматки розміром більше ніж 500 мм, кг/м³,

$$q_{\text{р}} = 0,13 \gamma^4 \sqrt{f},$$

де γ – щільність гірської породи, т/м³; f – коефіцієнт міцності за шкалою проф.Протодьяконова; d_0 – середній розмір окремоті в гірському масиві, м; d_3 – діаметр свердловинного заряду, мм; $k_{\text{п}}$ – коефіцієнт, що враховує поправку, якщо розмір шматків не 500 мм

$$k_{\text{п}} = \sqrt[5]{\left(\frac{500}{d_{\text{п}}}\right)^2}.$$

Формула (14) враховує основні фактори, які визначають здатність породи до вибухового руйнування, властивості міцності порід та тріщинуватість.

Представимо загальні витрати на буропідривні роботи через окремі витрати на буріння та вибухові роботи з урахуванням формул (10)-(13)

$$C_{\text{БПР}} = \frac{4q c_{\text{бур}}}{10^{-6} \pi d_3^2 \Delta k_{\text{в}}} + c_{\text{ВР}} q. \quad (15)$$

З урахуванням формули (14) з визначення питомої витрати ВР вираз (15) набуде вигляду

$$C_{\text{БПР}} = q_{\text{р}} (0,6 + 3,3 \cdot 10^{-3} d_0 d_3) k_{\text{п}} \left(\frac{4c_{\text{бур}}}{10^{-6} \pi d_3^2 \Delta k_{\text{в}}} + c_{\text{ВР}} \right). \quad (16)$$

Після певних перетворень отримаємо

$$C_{\text{БПР}} = q_{\text{р}} k_{\text{п}} \left(0,6 c_{\text{ВР}} + 3,3 \cdot 10^{-3} d_0 d_3 c_{\text{ВР}} + \frac{2,4 c_{\text{бур}}}{10^{-6} \pi d_3^2 \Delta k_{\text{в}}} + \frac{13,2 \cdot 10^{-3} d_0 c_{\text{бур}}}{10^{-6} \pi d_3 \Delta k_{\text{в}}} \right). \quad (17)$$

Підставляючи у формулу (17) значення діаметра свердловинного заряду, можна отримати,

для порід різної міцності та тріщинуватості при визначеній вартості буріння 1 м свердловини і вартості ВР, загальні витрати на буропідривні роботи. Мінімальні витрати на 1 м³ будуть відповідати раціональному діаметру.

Однак, вибір раціонального діаметру заряду за формулою (17) громіздкий, оскільки необхідно визначати витрати для всього діапазону зміни діаметрів свердловин. Більш зручно визначати раціональний діаметр для конкретних гірничо-геологічних умов розробки родовища.

Для встановлення оптимального значення діаметру свердловинного заряду візьмемо часткову похідну з виразу (17) по d_3 і прирівнявши її до нуля, отримаємо після перетворення неповне кубічне рівняння

$$3,3 \cdot 10^{-3} \pi k_B d_o \Delta c_{\text{ВР}} d_3^3 - 13,2 \cdot 10^3 d_o c_{\text{бур}} d_3 - 4,8 \cdot 10^6 c_{\text{бур}} = 0 \quad (18)$$

або

$$d_3^3 - \frac{4 \cdot 10^6 c_{\text{бур}}}{\pi k_B \Delta c_{\text{ВР}}} d_3 - \frac{1,45 \cdot 10^9 c_{\text{бур}}}{\pi k_B d_o \Delta c_{\text{ВР}}} = 0. \quad (19)$$

Позначимо

$$p = -\frac{4 \cdot 10^6 c_{\text{бур}}}{\pi k_B \Delta c_{\text{ВР}}}; \quad q = -\frac{1,45 \cdot 10^9 c_{\text{бур}}}{\pi k_B d_o \Delta c_{\text{ВР}}}. \quad (20)$$

Тоді рівняння (19) набуде класичного виду неповного кубічного рівняння

$$d_3^3 + p d_3 + q = 0, \quad (21)$$

рішенням якого, згідно формули Кардано, буде вираз

$$d_3 = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{p}{3}\right)^3}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{p}{3}\right)^3}}. \quad (22)$$

Після підстановки значень для p і q (формула (20)) та з урахуванням того, що середнє значення коефіцієнту використання свердловини $k_B=0,7$, остаточно отримаємо

$$d_3 = 10^3 \sqrt[3]{\frac{c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВР}} \Delta} \left(\frac{0,33}{d_o} + \sqrt{\frac{0,11}{d_o^2} - \frac{0,22 c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВР}} \Delta}} \right)} + 10^3 \sqrt[3]{\frac{c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВР}} \Delta} \left(\frac{0,33}{d_o} - \sqrt{\frac{0,11}{d_o^2} - \frac{0,22 c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВР}} \Delta}} \right)}. \quad (23)$$

Оскільки на сьогоднішній день переважна більшість гірничо-видобувних підприємств в якості засобів підривання використовують емульсійні вибухові речовини, щільність заряджання яких в середньому становить $\Delta=1250$ кг/м³, то формула (23) набуде вигляду

$$d_3 = 100 \left(\sqrt[3]{\frac{0,8 c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВР}}} \left(\frac{0,33}{d_o} + \sqrt{\frac{0,11}{d_o^2} - \frac{1,76 \cdot 10^{-4} c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВР}}}} \right)} + \sqrt[3]{\frac{0,8 c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВР}}} \left(\frac{0,33}{d_o} - \sqrt{\frac{0,11}{d_o^2} - \frac{1,76 \cdot 10^{-4} c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВР}}}} \right)} \right). \quad (24)$$

Таким чином, можна стверджувати, що якщо відомі вартісні показники буріння і підривання та характеристика тріщинуватості гірського масиву, то можна, з достатнім ступенем точності, визначити найбільш ефективний діаметр свердловинних зарядів ВР для конкретних гірничо-геологічних умов розробки родовища.

Висновки та напрямок подальших досліджень. За результатами проведених досліджень встановлено, що питання вибору ефективного діаметру свердловинного заряду ВР для руйнування скельних гірських порід на кар'єрах досліджено не повною мірою і тому для однакових умов ведення буропідривних робіт розрахункові методи надають різні результати.

Запропоновано для визначення найбільш ефективного діаметру свердловинного заряду на кар'єрах застосувати методику, яка ґрунтується на техніко-економічній оцінці показників буріння та вибухових робіт.

Отримана розрахункова формула з визначення діаметру свердловинного заряду ВР, яка пов'язує вартісні показники буріння та підривання, а також характеристику тріщинуватості гірського масиву.

Представлені результати дозволяють продовжити дослідження по встановленню рекомендацій щодо застосування певного діаметру свердловинних зарядів в гірських масивах з різним ступенем тріщинуватості.

Список літератури

1. **Тищенко С.В.** Особенности механизма разрушения горных пород дифференцированными скважинными зарядами взрывчатых веществ / **С.В. Тищенко, Г.И. Еременко, К.А. Федин** // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2012. – № 32. – С. 25–28.
2. **Жуков С.А.** Анализ закономерностей формирования силовых полей при взрыве скважинных зарядов в горных породах / **С.В. Тищенко, С.А. Жуков, В.В. Цариковский** // Науковий вісник Національного гірничого університету. Вип. № 2. – Дніпропетровськ: НГУ, –2009. –С.35-37.
3. **Фролов О. О.** Керування енергетичними потоками при вибуховому руйнуванні різноміцнісних масивів гірських порід на кар'єрах / Дис. ... докт. техн. наук: 05.15.03. – К., 2014. – 369 с.
4. **Шапурін О.В.** Оптимізація комбінованого буріння свердловин з утворенням котловин великого діаметру / **О.В. Шапурін, П.М. Синичич** // Вісник Криворізького національного університету: Зб. наук. праць. –2015. – Вип. 39. – С. 107-113.
5. **Фролов О. О.** Визначення раціональних параметрів короткосповільненого підривання гірських порід на залізничних кар'єрах / **О.О. Фролов** // Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво": Зб. наук. праць. –2011. – Вип.21. – С. 63-69.
6. Научные основы проектирования карьеров / Под ред. **В.В. Ржевского, М.Г. Новожилова, Б.П. Юматова.** – М.: Недра, 1971. – 600 с.
7. **Носков В. Ф.** Буровзрывные работы на открытых и подземных разработках / **В. Ф. Носков, В. І. Комащенко, Н. І. Жабін.** – М., Недра, 1982. – 320 с.
8. **Кравець В. Г.** Підривні роботи на кар'єрах. Навч. посібник / **В. Г. Кравець, В. Д. Воробійов, А. О. Кузьменко.** – К.: ІСДО, 1994. – 376 с.
9. **Кутузов Б. Н.** Взрывные работы / **Б. Н. Кутузов.** – М., «Недра», 1974. – 368 с.
10. **Ефремов Э. И.** Разрушение горных пород энергией взрыва / **Ефремов Э. И.**; под ред. **Э. И. Ефремова.** – К.: Наук. думка, 1987. – 264 с.
11. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий черной металлургии открытым способом разработки / **ВНТП 13-1-86** (МЧМ СССР) – 1986. – 194 с.
12. **Авдеев Ф. А.** Нормативный справочник по буровзрывным работам / **Ф. А. Авдеев, В. Л. Барон, Н. В. Гуров, В. Х. Кантор.** – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1986. – 511 с.
13. **Фролов О. О.** Щодо вибору ефективного діаметру свердловинних зарядів на кар'єрах / **О. О. Фролов, А.В. Хлановський** // Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво": Зб. наук. праць. –2017. – Вип. 33. – С. 15-21.
14. **Кутузов Б. Н.** Выбор рационального диаметра взрывных скважин на карьерах / **Б. Н. Кутузов, А. А. Вареничев** // Горн. журн. – 1976. – № 8. – С. 47-51.
15. **Мальцева Ю.С.** Проблемы выбора рационального диаметра скважинных зарядов на карьерах / **Ю.С. Мальцева А.А. Фролов** // Материалы 7-й Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Опыт прошлого – взгляд в будущее» – Тула: Тульский государственный университет. – 2017. – С. 30-35.

Рукопис подано до редакції 20.02.2018

УДК 622.283

Л.М. ЗАХАРОВА, канд. техн. наук

Інститут фізики гірничих процесів НАН України, м. Дніпропетровськ

КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ДИНАМІКИ Й КІНЕТИКИ РОЗВИТКУ ЗОНИ ЗРУЙНОВАНОГО МАСИВУ НАВКОЛО ПІДГОТОВЧОЇ ВИРОБКИ

Актуальність проблеми забезпечення стійкості гірничих виробок неухильно підвищується зі збільшенням глибини розробки підземних родовищ корисних копалин. Величина зміщень порід на контурі виробок послідовно зростає, тому що оточуючий масив деформується поза межею міцності. Процес необоротних зрушень зруйнованого масиву гірських порід має складну кінематику й динаміку, які вивчені на сьогодні недостатньо. Це стримує процес вдосконалення існуючих й розробку нових технологій кріплення і підтримки гірничих виробок у складних геомеханічних умовах.

Метою статті є підтвердити гіпотезу щодо важливості мікро-динамічних стрибко-подібних зміщень масиву гірських порід навколо підготовчих виробок під час необоротних зрушень масиву. У статті виконано комплексний аналіз результатів моніторингу кінетики й динаміки незворотних зрушень порід **методами** глибинних реперів, моніторингу мікро-сейсмічності масиву, а також його напруженого стану.

Наукові результати та їх новизна полягають у наступному. Вперше встановлено зв'язок між мікродинамічними осіданнями порід покрівлі виробки й активністю мікро-сейсмічної емісії масиву. Вперше доведено, що величина пустотності зруйнованого масиву періодично змінюється в зоні активного гірського тиску у 2-3 рази. Уточнено механізм взаємодії породних кластерів або інтервалів, у результаті якого відбувається перерозподіл пустотності зруйнованих порід. Показано, що такі процеси відображають близьку й дальню взаємодію породних фрагментів і їх кластерів під час необоротних зрушень гірського масиву у зоні активного гірського тиску, а самі кластери створюють дисипативні системи, які розсіюють енергію гірського тиску під час необоротних зрушень масиву гірських порід.

© Захарова Л.М., 2018