

4. Уилкинс М. Л. Удар цилиндра по жесткой преграде / М.Л. Уилкинс, М.У. Гуинан // Сб. пер. Механика.- 1973.- № 3.
5. Wilkins, M.L. Computer simulation of dynamic phenomena/ M.L. Wilkins. // Berlin-Heidelberg-N.Y.: Springer, 1999. – 246 p.
6. Коротких Ю. Г. Некоторые результаты численного исследования процесса соударения стержня с жесткой преградой / Ю.Г. Коротких, С.М. Белевич // В кн.: Методы решения задач упругости и пластичности. Горький.- 1972.
7. Веклич Н. А. О распространении и взаимодействии упругопластических волн в стержне при ударе о преграду. / Н.А. Веклич // Изв. АН СССР. МТТ.- 1970.- № 4.
8. Веклич Н. А. Продолжительность удара упругопластического стержня. / Н.А. Веклич, Б.М. Малышев // Изв. АН СССР. МТТ. – 1976.- № 2.
9. Гулидов А.И. Численное моделирование отскока осесимметричных стержней от твердой преграды / А.И. Гулидов, В.М. Фомин. // ПМТФ. 1980. №3. С. 126-132.
10. Фомин В.М. Высокоскоростное взаимодействие тел / В.М. Фомин, А.И. Гулидов, Г.А. Сапожников и др.// Новосибирск: Изд-во СО РАН. - 1999.
11. Баянов Е.В. Распространение упругих волн в однородных по сечению круглых стержнях / Е.В. Баянов, А.И. Гулидов // ПМТФ. - 2011. -Т. 52. - №5. - С. 155-162.
12. Тимошенко С.П. Курс теории упругости // Киев: Наукова думка.- 1972. - 508с.
13. Санкин Ю.Н. Нестационарные колебания стержневых систем при соударении с препятствием / Ю. Н. Санкин, Н. А. Юганова; под общ. ред. Ю. Н. Санкина // Ульяновск: УлГТУ, 2010. - 174 с.
14. Жуков И. А. Разработка научно-методических основ исследования и совершенствования ударных систем (на примере машин, применяемых при разрушении хрупких сред). - дис. на соиск. уч. ст. докт. техн. наук. 2010. 201с.
15. Слепухин В.В. Моделирование движения и восстановления скорости ступенчатого стержня при ударе о жесткую преграду // Информационные системы и технологии. - 2009. - №5. - С. 48-55.

Рукопис подано до редакції 12.04.17

УДК 622.235.62:622.271

Б.І. РИМАРЧУК, д-р техн. наук, проф.
Т.С. ГРИЩЕНКО, старший викладач, М.А. ГРИЩЕНКО, асистент
Криворізький національний університет
П.О. МІНЕНКО, д-р фіз.-мат. наук, проф., ДВНЗ "КДПУ"

ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ВИБУХОДОСТАВКИ РУДИ У КАМЕРНИХ СИСТЕМАХ РОЗРОБКИ

Мета. Метою даної роботи є розробка методу зменшення втрат руди на лежачому боці за рахунок використання ВКЗ та ГКЗ. Відбійка руд у камері за допомогою свердловинних зарядів показує, що втрати чистої руди на лежачому боці рудного покладу становлять приблизно до 20%, так як еліпсоїд випуску становить близько 90°, а кут падіння покладів Криворізьких залізрудних родовищ становить 35-70°.

Методи дослідження. Розглядалося технологія вибухоставки руди з відбійкою у два етапи, на першому етапі відбивається руда прилегла до висячого боку, а після випуску руди на створений таким чином компенсаційний простір відбивається руда яка прилегла до лежачого боку, використовуючи вибухоставку, руда буде відкинута під дучки висячого боку, що знизить втрати чистої руди по лежачому боці.

Наукова новизна. Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Її метою є математичне обґрунтування руху відбитої породи для її вибухоставки з лежачого боку на висячий, що знизить втрати руди на лежачому боці. Для суттєвого запобігання втрат корисної копалини слід застосувати зміни порядку відбійки руди в блоці.

Практична значимість. Технологія БПР на відбійку стелини виконується у два етапи: першим відбивається заряд ГКЗ, а потім із сповільненням – заряд ВКЗ. Пуста порода на стелиною не встигне впасти раніше на дачку за рахунок того, що швидкість вибухоставки вище ніж швидкість довільного падіння. Отже враховуючи те, що зарядження глибоких свердловин у буровому штреку за правилами техніки безпеки унеможливує знаходження робітників в межах зсуву порід лежачого боку.

Результати. Отримані результати між відбійкою свердловинними зарядами, та відбійкою ВКЗ показують, що при першому варіанті 36% загальної енергії вибуху йде на формування УВВ, а в другому варіанті енергії вибуху буде достатньо для відбійки руди у стелині з лежачого боку на дучки висячого боку.

Ключові слова: ВКЗ, ГКЗ, відбійка стелини, втрати на лежачому боці.

Порівнюються технології вибухоставки руди з відбійкою руди свердловинними зарядами й вертикальними концентрованими зарядами (ВКЗ). Пропонується порядок відбійки руди у камері, що забезпечує зниження втрат руди на лежачому боці. Пропонується порядок відбійки стелини, що також знижує ймовірність потрапляння руди на лежачий бік камери. Наведено

розрахунок довжини вильоту шматка руди, кинутого під кутом до горизонту. Доведено ефективність вибухоставки руди з відбійкою зарядами ВКЗ

Як слідує із геологічної характеристики Криворізьких залізородних родовищ, кут падіння покладів в основному становить $35-70^\circ$ [1]. Відбита руда, яка буде після відбійки лежати на лежачому боці, не буде випущена в повному обсязі через дучки із блоку й залишиться лежати на лежачому боці, так як еліпсоїд випуску руди має кут близько 90° [2]. Із цього слідує, що майже вся руда на лежачому боці буде втрачена, а це приблизно 20% чистої руди [3] (рис. 1).

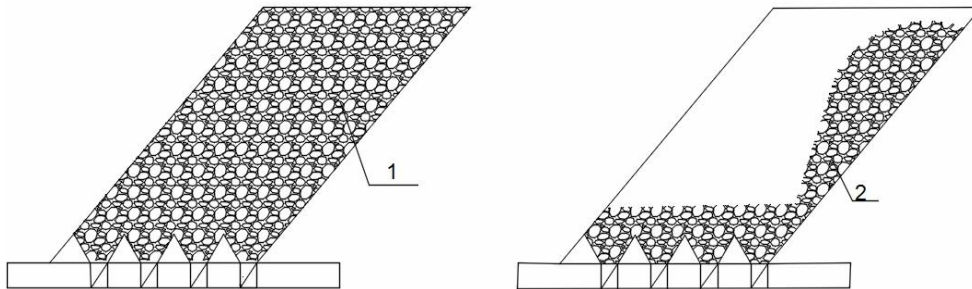


Рис. 1. Існуюча технологія відробки блока руди: 1 - відбита руда в камері; 2 - не випущена руда на лежачому боці

Для того щоб запобігти цим втратам необхідно змінити порядок відбійки руди в блоці. Відбивати руду потрібно у два етапи. На першому етапі відбивається руда прилегла до висячого боку. Після випуску руди на створений таким чином компенсаційний простір відбивається руда прилегла до лежачого боку (рис. 2). Застосовуючи спосіб вибухоставки, руду буде відкинуто на дучки під висячим боком.

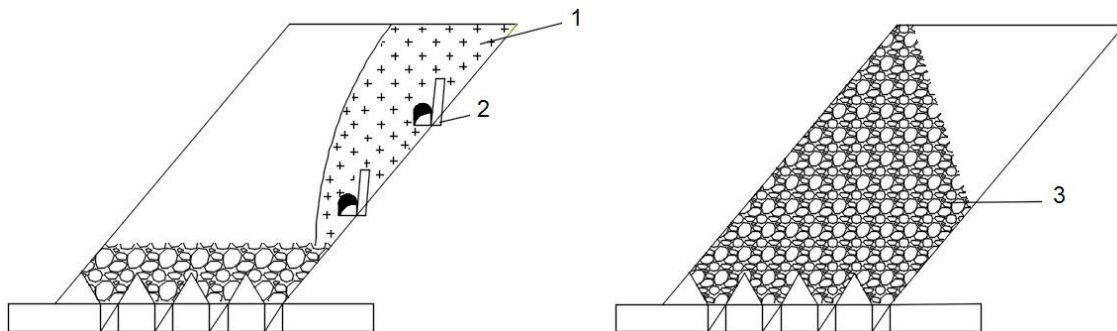


Рис. 2. Технологія відбійки руди в блоці за запропонованою технологією: 1 - трикутник руди на лежачому боці, 2 - ВКЗ, 3 - відбита руда

При застосуванні такого порядку відбійки втрати руди на лежачому боці будуть значно меншими. Для винайдення технології вибухоставки зробимо деякі порівняльні розрахунки технології з відбійкою руди свердловинними зарядами й зарядами ВКЗ.

Розрахунок довжини вибухоставки руди зарядами ВКЗ.

Відстань вильоту шматка руди від вибуху заряду ВКЗ може бути розраховано за формулою [4].

$$S = V_0 \sqrt{2h/g}, \quad (1)$$

де S - відстань вильоту шматка руди, м; h - висота, на якій буде знаходитись шматок руди, м; g - прискорення вільного падіння – $9,8 \text{ м/с}^2$; V_0 - швидкість вильоту шматка руди, м/с.

Вихідні дані для розрахунку знайдемо, виходячи з умови, що шматок руди при вибуху заряду ВКЗ, який буде нахилений до горизонту під кутом α , рухається за параболою, виконуючи рух у двох напрямках: горизонтальному і вертикальному.

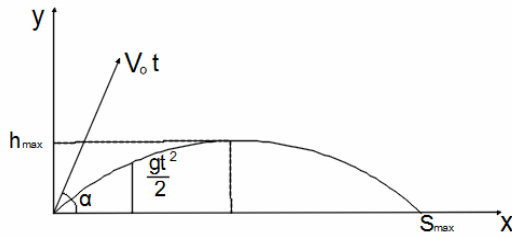


Рис. 3. Траєкторія руху шматка руди кинутого вибухом під кутом α до горизонту

Максимальна горизонтальна відстань, на яку буде кинуте шматок руди після вибуху заряду ВКЗ визначимо за формулою

$$S_{\max} = V_0 \cdot t \cdot \cos \alpha \quad (2)$$

де t - час руху шматка руди, с; α - кут нахилу траєкторії

вильоту шматка руди, град. ($\alpha = 50^\circ$)

Вертикальна складова траєкторії вильоту шматка руди скинутого під кутом до горизонту буде дорівнювати

$$h_{\max} = V_0 \cdot \sin \alpha \cdot gt^2/2 \quad (3)$$

Час руху шматка руди буде дорівнювати часу падіння з висоти h_{\max} . Висота h_{\max} буде дорівнювати висоті закладання заряду плюс висота підйому шматка руди (залежить від початкової швидкості шматка руди, яка буде задана їй вибухом).

Час підйому шматка руди на висоту h_{\max} розраховуємо за формулою

$$t_1 = V_0 \cdot \sin \alpha / g \quad (4)$$

Винайшовши за формулами 2-4 розрахункові значення зможемо знайти за формулою (1) відстань, на яку буде кинуте шматок руди при вибуху заряду на вихідній висоті h .

Для розрахунків за цими формулами необхідно винайти початкову швидкість вильоту шматка руди здійснюється, в основному, за рахунок поршневої дії вибухових газів. Знайдемо роботу вибуху, яка здійснюється за рахунок тиску вибухових газів у зарядній порожнині, який утворюється вибухом заряду ВР вагою 10 (десять) т. Розрахунок зробимо для амоніту №6 ЖВ.

Тиск газів при вибуху в зарядній порожнині знайдемо за формулою [5], МПа

$$P = \rho D^2 / 8 \quad (5)$$

де ρ - щільність заряджання зарядної ємності (ВКЗ), $\text{кг}/\text{м}^3$ (приймаємо щільність заряджання ВКЗ $650 \text{ кг}/\text{м}^3$, внаслідок того що, підняттевий заряджається на 65% свого об'єму) [6]; D - швидкість детонації, м/с (для амоніту №6 ЖВ дорівнює $4200 \text{ м}/\text{с}$ [7]).

Тоді тиск газів у зарядній камері буде дорівнювати, МПа

$$P = 650 \cdot 4200^2 / 8 = 1433,25 \quad (6)$$

Робота, яка здійснюється за рахунок тиску вибухових газів буде дорівнювати, МДж ($\text{кгм}^2/\text{с}^2$).

$$E = PV_{\text{ВВ}}, \quad (7)$$

де $V_{\text{ВВ}}$ - об'єм ВР, м^3 . (10 м^3), тоді

$$E = 1433,25 \cdot 10 = 14332,5.$$

У цьому випадку швидкість вильоту шматка руди від дії тиску газів буде дорівнювати, (виходячи з формули кінетичної енергії)

$$V_2 = \sqrt{2E/m}, \quad (8)$$

де m - маса руди, що відбивається, кг.

Заряд ВКЗ масою 10 т, як показує практика застосування цих зарядів відбиває 20000 т руди, або $20 \cdot 10^6 \text{ кг}$, м/с [8].

Тоді

$$V_2 = \sqrt{2PV_{\text{ВВ}} / 20 \cdot 10^6} = \sqrt{2 \cdot 14332,5 / 20 \cdot 10^6} = 38,86 \text{ м}/\text{с}$$

За формулою (4) знайдемо час підйому шматка руди на висоту h_{\max} (кут дорівнює 50°)

$$t_1 = V_0 \cdot \sin \alpha / g = 38,86 \cdot 0,5 / 9,8 = 1,98 \text{ (приймаємо 2)}$$

Висота підйому шматка руди за час $2,35\text{с}$ складає, м

$$h_n = V_0 \cdot t \cdot \sin \alpha \cdot gt^2/2 \quad (9)$$

$$h_n = 38,86 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 9,81 \cdot 2^2/2 \approx 19$$

Загальна висота підйому, на яку викинуто шматок руди, буде дорівнювати: $h_3 = h_g + h_n$ де h_g - (30 м - висота закладання ВКЗ у блоці відносно днища блоку); $h_3 = 30 + 19 = 49 \text{ м}$

У цьому випадку відстань по горизонталі, на яку буде викинуто шматок руди, буде дорівнювати, м

$$S = V_o \sqrt{2 \cdot h_s / g}$$

$$S = 38.86 \sqrt{2 \cdot 49 / 9.8} = 123 \quad (10)$$

З цієї відстані необхідно відняти величину проекції траєкторії вильоту на похилу площину лежачого боку. Ця відстань буде дорівнювати, м

$$S_n = h \cdot \cos \alpha$$

$$S_n = 30 \cdot 0.86 = 25.0,$$

Тоді дійсна відстань вибухоставки буде дорівнювати, м

$$S_{pg} = S - S_n$$

$$S_{pg} = 123 - 25 = 98.$$

Цей розрахунок зроблено для умов вильоту одиночного шматка руди. За умов вильоту великого об'єму руди буде спостерігатися зіткнення шматків руди, що призведе до значного зменшення відстані вибухоставки. Припустимо, що відстань вибухоставки буде в половину меншою, тобто 49 м. Це відповідає дійсності, бо в загальному випадку максимальні значення відстаней доставки мають вигляд

$$S_{\max} = V_o^2 (\sin \alpha)^2 / g \quad (11)$$

Усереднюючи по всіх напрямках, отримуємо

$$S_n = 0.637h; h_n = 0.25 V_o^2 / g; S_{\max} = 0.637 V_o^2 / g \quad (12)$$

Підставляючи в (12) ті ж самі параметри, отримуємо, м

$$h_n = 38.5; S_{\max} = 98.2; S_n = 19.1; S_{pg} = S - S_n = 98.2 - 19.1 = 81.1.$$

У випадку усереднення розрахована відстань 81,1 м, а в умовах зіткнення шматків руди вона буде дорівнювати приблизно 41 м, що достатньо для вибухоставки руди з лежачого боку на висячий бік в умовах Криворізьких рудників.

Відбійка свердловинними зарядами.

Зробимо розрахунок за такою ж схемою, як і для зарядів ВКЗ.

Вибухоставка за умов підривання зарядів може бути здійснена за схемою як показано на рис. 4.

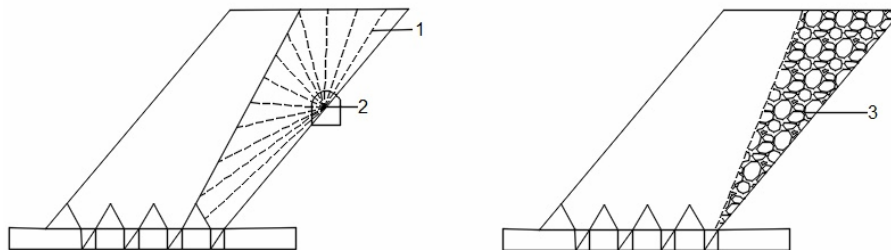


Рис. 4. Вибухоставка підриванням свердловинних зарядів:
1 – глибокі свердловини, 2 – буровий штрек; 3 – навал відбитої руди

Тиск газів у зарядній порожнині свердловини, яка фактично не має надійної забійки й з'єднана з буровою виробкою, буде дорівнювати за формулою (5), МПа

$$P = 450 \cdot 4200^2 / 8 = 992.2$$

(Щільність заряджання свердловини взято 450 кг/м³, за умов, що вказані вище [9]).

Робота, яка буде здійснена за рахунок тиску газів, мДж

$$E = P \cdot V_{\text{вв}} = 992.2 \cdot 0.155 = 153.8$$

(свердловина довжиною 20 м вміщує 0.155 м³ ВР).

Зважаючи на те, що при відбійці свердловинними зарядами 36% загальної енергії вибуху йде на формування УПХ [10]

У кінцевому результаті енергія вибуху буде дорівнювати, мДж

$$E = 153.8 \cdot (1 - 0.36) = 98.4$$

Швидкість вильоту шматка руди буде дорівнювати, м/с (за формулою 7)

$$V = \sqrt{2E/m} = \sqrt{2 \cdot 98.4 \cdot 10^6 / 443.58} = 21.1$$

Час підйому шматка руди на висоту h_{max}, с.

$$t = V \cdot \sin \alpha / g = 21.1 \cdot 0.5 / 9.81 = 1$$

Висота підйому шматка руди за 1 с складає, м:

$$p = V_p = t \cdot p \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} = 21,1 \cdot 1 \cdot 0,5 - \frac{9,8 \cdot 1^2}{2} = 5,65$$

Довжина вибухоставки буде дорівнювати (за формулою 1), м:

$$S = 21,1 \sqrt{2 \cdot 15,65 / 9,8} = 35,8$$

Виразуємо проекцію вильоту шматка руди на похилу площину лежачого боку. Ця відстань буде дорівнювати 25 м. Тоді дійсна відстань вибухоставки буде дорівнювати, м

$$S_{в.д.} = 35,8 - 25 = 10,8.$$

Це недостатньо для вибухоставки руди на дучки висячого боку. За такої довжини вибухоставки руда на лежачому боці майже вся залишиться на місті, як показано на рис. 4.

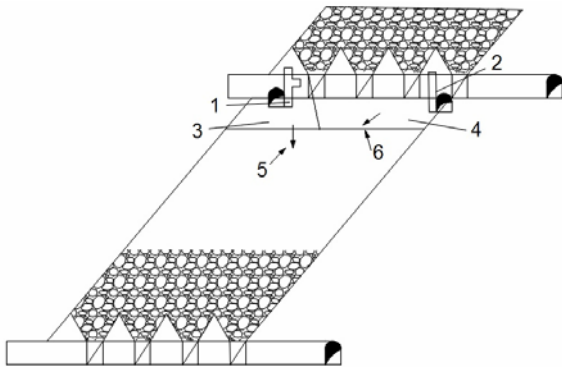


Рис. 5. Технологія відбійки стелини: 1 - ГКЗ, 2 - ВКЗ; 3 - частина стелини, яка буде відбита зарядом ГКЗ; 4 - частина стелини, яка буде відбита зарядом ВКЗ; 5 - напрям відбійки руди зарядами ГКЗ; 6 - напрям відбійки руди зарядами ВКЗ

Крім того слід звернути увагу на те, що виконувати зарядку свердловин у буровому штреку (див. рис. 4) за правилами техніки безпеки неможливо, оскільки робітник буде знаходитися в межах зони зсуву порід лежачого боку.

Технологія БВР на відбійку стелини слідує: першим підривається заряд ГКЗ, а потім із сповільненням - заряд ВКЗ. Після вибуху заряду ГКЗ руда з висячого боку буде відкинута на дучки під висячим боком, а вибух заряду ВКЗ теж відкине руду на дучки під висячим боком.

Пуста порода над стелиною не встигне впасти раніше на дучки, оскільки швидкість вибухоставки буде вищою ніж довільне падіння пустої породи з вищележачого горизонту на приймальні дучки. Пуста порода над стелиною (вищележачого горизонту падає на лежачий бік в камері.

Список літератури

1. Дробин Г.Ф., Римарчук Б.И., Андрущенко А.В. и др. О путях выхода из кризисна железорудной промышленности Украины / Сб. научн. труд. Основные поправки развития горнопромышленного комплекса (ГПК)
2. Борисенко С.Г. Технология подземной разработки рудных месторождений. - К.: Вища шк., 1987. -264 с.
3. Борисенко С.Г. Вскрытие и системы разработки рудных месторождений. – К.: Вища шк., 1977. -295 с.
4. Законы и формулы физики / В.Е. Кузьмичев справочник изд. Наукова думка. 1989 – С. 32-33.
5. Станюкович К.П. Неустановившееся движение сплошной среды. – М.: Наука, 1971. – 855с.
6. Отбойка руд вертикальными концентрационными зарядами. Римарчук Б.И. Металлургическая и горнорудная промышленность, 1998 №1 с. 71-75.
7. Энергетический критерий оценки промышленных ВВ. «Проблемы разрушения горных пород взрывом»/ Г. П. Демидюк. – в сб. н. т. изд. М: «Недра», 1967 – С. 126-136.
8. Использование концентрированных зарядов ВВ при отбойке руды на подземных рудниках Криворожского бассейна. Римарчук Б.И., Дядечкин М.И. и др. Горный журнал 2009 №10 с. 67-70.
9. Именитов В.Р. Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений.- М.: Недра, 1978.- 528с.
10. Фактические параметры ударных воздушных волн при взрывах в подземных выработках. / А.А. Гурин, П.С. Малый, И.В. Клевцов и др. – Горный журнал вып. 6, 1975. – С. 37-38.

Рукопис подано до редакції 12.04.17