

ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН НА ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ РОБОТАХ

Мета. Дослідження високопродуктивних вибухових речовин та їх застосування на підземних гірничих роботах для умов Криворізького залізрудного басейну, що дозволить зменшити собівартість видобутку залізних руд за рахунок підвищення якості подрібнення гірського масиву.

Методи дослідження. При видобутку залізних руд у Криворізькому залізрудному басейні на підземних гірничих роботах застосовується вибухова речовина «Грамоніт 79/21». З подальшим веденням гірничих робіт на глибинах понад 1200-1300 м суттєво погіршуються гірничо-геологічні умови, що призводить до погіршення показників вилучення. Покращити показники вилучення залізної руди підприємства намагаються шляхом удосконалення випуску обваленої рудної маси. Аналіз систем розробки показав, що на показники вилучення рудної маси суттєво впливає якість подрібнення гірського масиву а саме рівномірне подрібнення при встановленому кондиційному шматку руди. За результатами промислового досвіду встановлені та визначені фактори, що впливають на показники якості подрібнення масиву при його руйнуванні буропідливним способом гірського масиву.

Наукова новизна. Встановлено, що застосування емульсійної вибухової речовини на гірничих роботах призводить до зменшення питомих витрат вибухової речовини та поліпшується якість подрібнення гірського масиву. Слід відмітити, що досягнення наукового результату досягається шляхом застосування комплексного методу досліджень та розробки удосконаленої методики буропідливних робіт при застосуванні емульсійної вибухової речовини.

Практична значимість. На підземних гірничих роботах емульсійна вибухова речовина не застосовується при масовому обваленні руди, тому методика розрахунку параметрів буропідливних робіт відсутня. Розроблена методика з визначення параметрів бурових робіт та схема розташування свердловин в блоці дозволяє не тільки зменшити сумарну довжину свердловин на 30-40% але й покращити показники вилучення рудної маси на 1,5-2,5%.

Результати. При застосуванні ЕВР на підземних гірничих роботах, лінія найменшого опору збільшується в 1,1–1,4 рази у порівнянні з вибуховою речовиною «Грамоніт 79/21». Розроблена схема відбійки гірського масиву низхідними віями глибоких свердловин, дозволяє можливість застосування емульсійної вибухової речовини та отримати розрахунковий економічний ефект в розмірі 22,07 грн/т. При річній продуктивності шахти 2,4 млн т/рік річний економічний ефект складатиме 52,97 млн грн.

Ключові слова: підземна розробка, вибухова речовина, якість, стійкість, переущільнений шар.

doi: 10.31721/2306-5451-2024-1-58-40-46

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Криворізький залізрудний басейн має близько 32,0 млрд т залізної руди, видобуток якої здійснюється відкритим та підземним способами. На підземних гірничих роботах видобуток залізної руди здійснюється системами з масовим обваленням руди та вміщуючих порід або системами з відкритим очисним простором [1-3]. При відпрацюванні запасів залізних руд на глибинах понад 1200–1300 м суттєво погіршуються гірничо-геологічні умови, що призводить до зниження показників вилучення рудної маси внаслідок нерівномірного подрібнення руди та проявів гірського тиску [4-6].

На теперішній час руйнування гірського масиву здійснюється за рахунок глибоких свердловин діаметром 105 мм та довжиною до 35–50 м. В якості бурового інструменту використовують бурові верстати НКР-100МПА або КБУ. Дане бурове обладнання має наступні недоліки: значний час на буріння свердловин у виїмальному блоці або панелі; зменшення продуктивності праці по системі; збільшення часу на відпрацювання блоку в умовах гірського тиску призводить до втрат свердловин від 4 до 20% [7-9]. Застосування імпортного самохідного бурового обладнання дозволить покращити показники по системі.

На відкритих гірничих роботах були досягнені високі показники продуктивності праці за рахунок застосування потужного імпортного самохідного обладнання зі застосуванням емульсійної вибухової речовини (ЕВР). На підземних гірничих роботах при проходці гірничих виробок частково застосовують ЕВР, що дозволило зменшити витрати на проходку гірничих виробок [10-12].

Слід зауважити, що при масовому обваленні руди зі застосування ЕВР на теперішній час відсутня методика по визначенню параметрів буропідливних робіт. Таким чином, розробка

нової або удосконалення існуючої методики по визначенню параметрів буропідричних робіт [13] для ЕВР є актуальним питанням.

Аналіз досліджень і публікацій. При застосуванні систем розробки з масовим обваленням для руйнування гірського масиву використовують наступні способи відбійки руди: шпурова, свердловинна, мінна чи концентрованими зарядами. На більшості гірничодобувних підприємствах Криворізького басейну з підземним способом видобутку застосовують відбійку масиву вертикальними віями глибоких свердловин на вертикальну або горизонтальну компенсаційну камеру шириною 8–12 м. В слабких нестійких породах або в умовах прояву значного гірського тиску відбійка здійснюється на вертикальну відрізню щілину шириною 5–6 м або на затиснуте середовище [14–16].

Автори робіт [17, 18] зробили значний вклад у розвиток теорії руйнування гірського масиву шляхом розробки методики по визначенню параметрів буропідричних робіт. Запропоновані ними схеми та способи відбійки, конструкції зарядів, способи підривання свердловин не враховують погіршення гірничо-геологічних умов з поглибленням підземних гірничих робіт.

Найбільш широке застосування знайшов спосіб відбійки руди вертикальними віями глибоких свердловин на вертикальний компенсаційний простір. Сутність даного варіанту полягає в наступному: в центрі блоку формують відрізню щілину, в лежачому боці проходять буровий штрек з площею поперечного перетину 9 м^2 , з якого бурять вертикальні віяла висхідних свердловин. При незначній собівартості видобутку та відносно не великими показниками (втрати та засмічення), даний спосіб має наступні недоліки: підвищені витрати глибоких свердловин; нерівномірність дроблення масиву.

Зменшити питомі витрати глибоких свердловин можливо за рахунок змінення параметрів свердловинної відбійки, до яких відносять: найкоротша відстань від осі заряду до оголеної поверхні; діаметр свердловини; відстань між кінцями свердловин. При цьому, вагомими параметрами, які впливають на якість відбійки є лінія найменшого опору (ЛНО) та відстань між кінцями глибоких свердловин, які залежать від діаметру свердловини, працездатності вибухової речовини, що застосовується.

З виконаного аналізу встановлено, що більшість методик при визначенні величини лінії найменшого опору та відстані між кінцями свердловин не враховують властивості вибухової речовини, або мають значну кількість коефіцієнтів, які необхідно уточнювати промисловими дослідженнями [19–21].

Так, на руднику Кіруна (Швеція) параметри буровибухових робіт визначаються та уточнюються в процесі підземної розробки промисловими вибухами по 2–3 віяла свердловин [22, 23]. Але, недоліком даного способу є те, що неможливо масовим вибухом руйнувати очисний блок при застосуванні торцевого випуску. Тому, при відпрацюванні нестійких рудних тіл суттєво підвищується собівартість видобутку руди в наслідок додаткових витрат на заходи для підтримання підземних гірничих виробок.

Альтернативним варіантом відпрацювання руд є система розробки, яка введена на руднику Кідд Крік (Канада). Вона дозволила зменшити тиск навколо очисних виробок, за рахунок закладального матеріалу але в 2–3 рази збільшила собівартість видобутку, [24, 25].

Для умов Криворізького залізрудного басейну, у зв'язку з його гірничо-геологічними та технологічними особливостями підземної розробки, впровадження високопродуктивних технологій неминує призведе до значного збільшення собівартості видобутку руди. Застосування емульсійної вибухової речовини на підземних гірничих роботах при масовому обваленні гірського масиву, дозволить покращити показники буропідричних робіт та вміст заліза в процесі випуску обваленної руди за рахунок підвищення якості подрібнення [26–28].

Однак, за відсутністю методики по визначенню параметрів буропідричних робіт для емульсійних вибухових речовин неминує призведе до погіршення умов випуску, доставки та збільшити собівартість видобутку рудної маси.

Існуюча методика [13], розроблена для вибухової речовини «Грамоніт 79/21» не підходить для визначення параметрів при застосуванні емульсійної вибухової речовини та потребує удосконалення.

Постановка задачі. Метою дослідження є використання високопродуктивних вибухових речовин та їх застосування на підземних гірничих роботах для умов Криворізького залізрудного басейну, що дозволить зменшити собівартість видобутку залізних руд за рахунок підви-

щення якості подрібнення гірського масиву.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішені наступні задачі:

обґрунтувати значення лінії найменшого опору при застосуванні емульсійної вибухової речовини;

розробити схему відбійки гірського масиву при застосуванні емульсійної вибухової речовини.

Об'єктом дослідження є вибухова речовина, за допомогою якої руйнується гірський масив.

Викладення матеріалу та результати. Все частіше гірничодобувні підприємства з підземним способом видобутку намагаються зменшити собівартість видобутку руди за рахунок різноманітних чинників. Одним з таких є впровадження у виробництво емульсійної вибухової речовини [12, 20, 26]. Дана вибухова речовина показала високі техніко-економічні показники на відкритих гірничих роботах, за рахунок високої енергії вибуху та збільшенні лінії найменшого опору та відстані між свердловинами.

Середні питомі витрати емульсійної вибухової речовини по підприємствах з відкритим способом видобутку Криворізького залізничного басейну змінюються від 0,771 до 1,427 кг/т та в середньому складають 1,008.

Визначимо питомі витрати вибухової речовини за формулами представленими в методиці проф. Капленко Ю.П. [13] при діаметрі свердловин 250 мм. Результати розрахунків приведені на рис. 1.

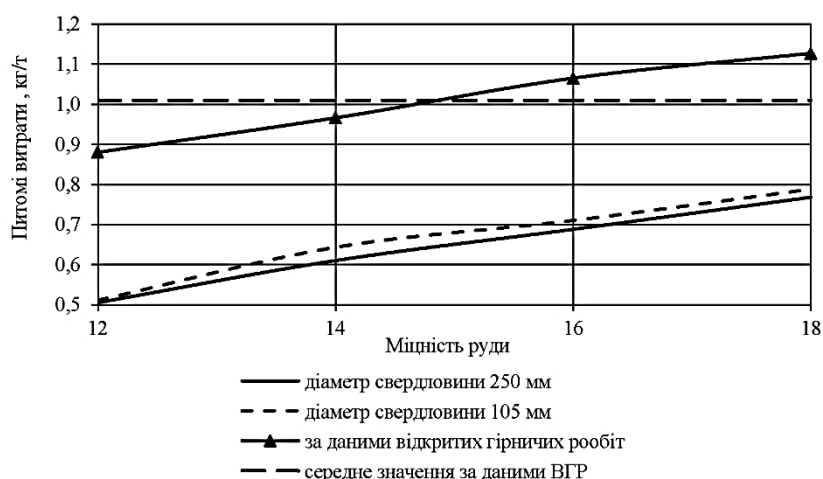


Рис.1. Залежності питомих витрат ЕВР від коефіцієнту міцності руди та діаметру свердловини за методикою [26] і згідно промислових досліджень

З рис. 1 видно, що на питомі витрати вибухової речовини суттєво не впливає діаметр свердловини. Однак, вони збільшуються з 0,5 до 0,8 кг/т, що на 0,4 кг/т менше, ніж при відбійці на відкритих гірничих роботах. Таким чином, можна стверджувати, що методика [13] яка використовується для визначення параметрів буропідричних робіт на підземних гірничих роботах для вибухової речовини Грамоніт 79/21 після удосконалення може використовуватися для ЕВР.

Враховуючи те, що при відбійці рудного масиву емульсійною вибуховою речовиною питомі витрати значно менше, ніж при гранульованій вибуховій речовині, тому при визначенні лінії найменшого опору необхідно додати коефіцієнт працездатності емульсійної вибухової речовини. Після перетворень лінія найменшого опору визначається за виразом

$$W_E = k_n \cdot C_0 \cdot d_p \cdot K_E, \quad (1)$$

де K_E – коефіцієнт працездатності емульсійної вибухової речовини.

Коефіцієнт працездатності емульсійної вибухової речовини визначається за формулами

$$\text{при } q_f < q_v \quad K_E = \exp(0,314 \cdot q_f / q_v), \quad (2)$$

$$\text{при } q_f > q_v \quad K_E = \exp(0,314 \cdot q_v / q_f), \quad (3)$$

де q_f – питомі витрати ВР визначаються за формулою (6), кг/т; q_v – питомі витрати ВР, кг/т (приймаються згідно даних практики відкритих гірничих робіт (рис. 3), або приймається 1,008.

Виконавши розрахунки за формулою (1) з урахуванням (2) та (3) побудовані залежності лі-

ній найменшого опору від діаметру свердловини та коефіцієнту міцності руди (рис. 2).

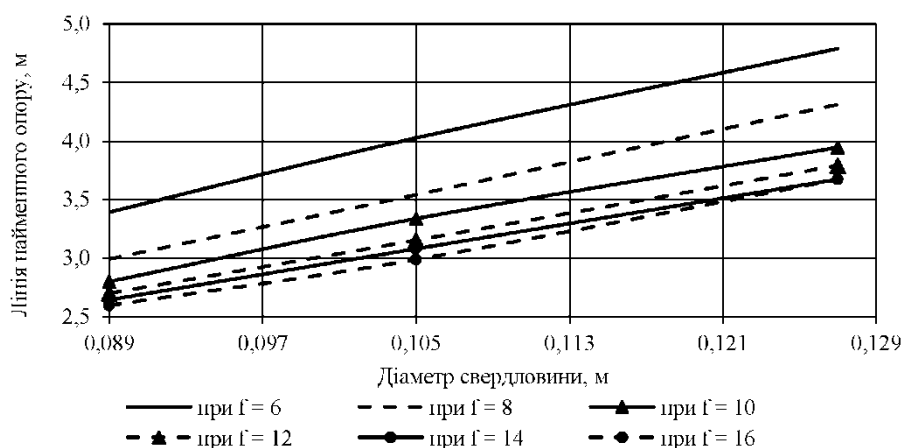


Рис. 2. Залежності лінійного найменшого опору від діаметру свердловини та коефіцієнту міцності руди (за удосконаленою методикою)

З графіків, приведених на рис. 2, видно, що значення лінійного найменшого опору зі збільшенням міцності порід зменшується, а зі збільшенням діаметра свердловини, збільшуються. Порівнюючи залежності, які приведені на рис. 1 та рис. 2 видно, що лінійний найменший опору при застосуванні ЕВР збільшується на 0,3–0,5 м при діаметрі свердловини 105 мм.

Питомі витрати вибухової речовини від діаметра свердловини та коефіцієнта міцності порід за шкалою Протод'яконова М. М. приведені на рис. 3.

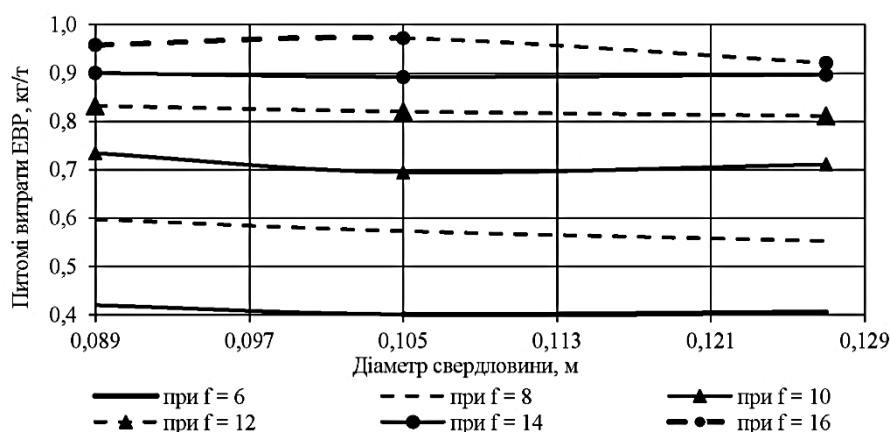


Рис. 3. Залежності питомих витрат вибухової речовини на відбійку від діаметру свердловини та коефіцієнту міцності руди (за удосконаленою методикою)

Для умов ш. «Тернівська» акціонерного товариства «Кривбасзалізрудком»: $L_{бл} = 60$ м; $M_c = 30$ м; $\alpha = 70^\circ$; $f_p = 9-11$ (середньої стійкості); $f_{в/б} = 12-14$ (середньої стійкості); $f_{л/б} = 7-9$; $f_{в/б} = 12-14$ (середньої стійкості); $\gamma_p = 3,6$ т/м³; $Fe_p = 61,4\%$, $Fe_n = 37,5\%$, були виконані розрахунки параметрів буропідричних робіт. Висоту поверху приймали з практичного досвіду – 80 м, відповідно висота підповерху становила 35 м. Система розробки, що застосовується на шахті «Тернівська», підповерхово-камерного обвалення руд і вміщуючих порід із відбійкою глибокими свердловинами на вертикальний компенсаційний простір. Схема розбурювання гірського масиву для заданих параметрів та удосконаленої методики враховуючи формули (1)-(3), приведена на рис. 4.

Параметри буропідричних робіт розраховуємо за удосконаленою методикою без урахування напружено-деформованого стану гірського масиву. Згідно з міцнісними характеристиками масиву та коефіцієнту працездатності емульсійної вибухової речовини «Україніт ПП-1», лінійний найменший опору дорівнює 3,4 м, відстань між кінцями свердловин 3,1 м, та радіусами недозаряду навколо бурового штреку $W=3,4$ м та $1,5 \cdot W=5,1$ м.

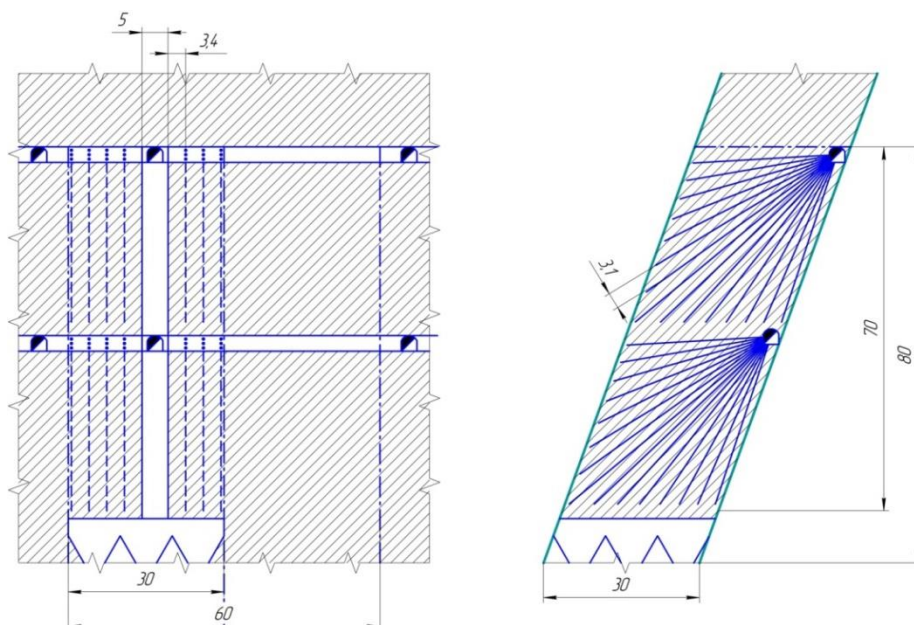


Рис. 4. Схема розбурювання масиву низхідними віями глибоких свердловин з параметрами буропідричних робіт, визначених за удосконаленою методикою

Результати виконаних розрахунків буропідричних робіт та техніко-економічних показників приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Основні техніко-економічні показники

Найменування показників	Вибухова речовина	
	«Грамоніт 79/21»	Емульсійна
Запас руди в очисному блоці, т	189000	189000
Діаметр свердловини, мм	105	105
Лінія найменшого опору, м	2,8	3,4*
Відстань між кінцями свердловин, м	2,6	3,1
Діаметр середнього куска, м	0,26	0,31
Сумарна довжини свердловин, м	11952	7639
Вихід руди з 1 м свердловини, т	15,8	24,7
Загальна кількість ВР, кг	76869	49409
Вихід негабаритних фракцій, %	14,6	15,06
Питомі витрати ВР, кг/т	0,41	0,26
Питомі витрати електродетонаторів, шт/тис. т	0,54	0,35
Питомі витрати ДШ та підривного дроту, м/т	0,151	0,101
Продуктивність праці на відбійці, т/зм	628,8	835,5
Час на буріння глибоких свердловин, зм	1261,4	806,3
Витрати на вибухову речовину	68729954	26506862
Витрати на заробітну платню за буропідричними роботами, грн	559512	357922
Витрати на інші матеріали та обладнання, грн	2850494	3103726
Собівартість на буріння та підривання, грн/т	170,053	147,981

Примітка: * – при розрахунку параметрів буропідричних робіт за методикою [26]

Встановлено, що при застосуванні емульсійної вибухової речовини на підземних гірничих роботах з параметрами буропідричних робіт призведе до переподрібнення руди. Це знизить продуктивність праці на доставці, особливо в обводнених блоках.

Висновки та напрямки подальших досліджень. В результаті досліджень встановлено, що при застосуванні ЕВР на підземних гірничих роботах, лінія найменшого опору збільшується в 1,1–1,4 рази у порівнянні з вибуховою речовиною «Грамоніт 79/21». При річній продуктивності шахти 2,4 млн т/рік річний економічний ефект складатиме 52,97 млн грн.

Розроблена схема відбійки гірського масиву низхідними віями глибоких свердловин, дозволяє можливість застосування емульсійної вибухової речовини та отримати розрахунковий економічний ефект в розмірі 22,07 грн/т.

Список літератури

1. **Ступнік М.І.** Комбіновані способи подальшої розробки залізрудних родовищ Криворізького басейну / М.І. Ступнік, С.В. Письменний // Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – Кривий Ріг, 2012. – № 95(1). – С. 3-7.3.
2. **Ступнік Н.І.** Перспективные технологические варианты дальнейшей отработки железорудных месторождений системами с массовым обрушением руды / Н.І. Ступнік, С.В. Письменний // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, 2012. – №30. – С. 3-7.
3. **Ступнік Н.І.** Параметры этажно-камерной выемки железистых кварцитов с наклонными целиками / Н.І. Ступнік, С.В. Письменний // Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – Кривий Ріг, 2013. – № 96. – С. 3-7.
4. **Ступнік Н.І.** Технология разработки рудных месторождений открыто-подземным способом / Н.І. Ступнік, Б.Н. Андреев, С.В. Письменний // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, 2012. – № 33. – С. 3-8.
5. **Письменний С.В.** Отработка сложно-структурных залежей богатых руд камерными системами разработки / С.В. Письменний // Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – Кривий Ріг, 2014. – Вип. 97. – С. 3-7.
6. **Ступнік М.І.** Визначення параметрів воронки обвалення в зоні підземних гірничих робіт при розробці залізрудних родовищ / М.І. Ступнік, С.В. Письменний // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг, 2010. – Вип. 26. – С. 26-29.
7. **Колосов В.А.** Современное состояние и перспективы развития предприятий по добыче и переработке железорудного и флюсового сырья в Украине / В.А. Колосов, В.П. Воловик, Н.І. Дядечкин // Горн.журн. – М.: МГУ, 2000. – №6. – С. 162-168.
8. **Чернокур В.Р.** Добыча руд с поэтажным обрушением / В.Р. Чернокур, Г.С. Шкрёбо, В. И. Шелегеда. – М.: Недра, 1992. – 271 с.
9. **Андреев Б.Н.** Перспективы поддержания производственных мощностей шахт и карьеров Кривбасса / Б.Н. Андреев, С.В. Письменний, Д.В. Бровко // Минск. – 2013. – С.115-120.
10. **Семешин В.З.** Подземная разработка железорудных месторождений / В.З. Семешин, Е.Д. Прилипенко, А.С. Колодезнев. – К.: Техника, 1981. – 158 с.
11. **Агошков М.И.** Разработка рудных и нерудных месторождений / М.И. Агошков, С.С. Борисов, В.А. Боярский. – М.: Недра, 1983.
12. **Федько М.Б.** Экономические аспекты перехода на бестротиловые взрывчатые вещества при подземной добыче руд в Криворожско бассейне / М.Б. Федько, В.А. Колосов, Е.А. Калиниченко, С.В. Письменний // Науковий вісник НГУ. 2014. № 4. С.79–84.
13. **Капленко Ю. П.** Инструкция по выбору параметров БВР при отбойке руды глубокими скважинами / Ю. П. Капленко // Кривой Рог: КГРИ, 1977. – 28 с.
14. **Малахов Г.М.** Теория и практика обрушенной руды / Г.М. Малахов, В.Р. Безух, П.Д. Петренко. – М.: Недра, 1968. – 311 с.
15. **Черненко А.Р.** Параметры массового обрушения руды в шахтах и средства его осуществления / А.Р.Черненко, Н.А.Олейник, В.Е. Андрийчук // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1988. – №1. – С. 43-45.
16. **Ступнік Н.І.** Снижение потерь и засорения руды, за счет применения переуплотняемого слоя руды / Н.І. Ступнік, С.В. Письменний // Горная промышленность. – 2011. – Вип. Специальный выпуск. – С. 35-37.
17. **Прохода А.З.** Совершенствование системы поэтажного обрушения / А.З.Прохода, Н.І.Ступнік, В.В. Маркитан // Разраб. рудн. месторождений. К.: Техніка, 1981. – Вип. 32. – С. 62-64.
18. **Капленко Ю.П.** Инструктивно-методические указания по выбору параметров буровзрывных работ (БВР) при подземной добыче руд. Ч. I. Выбор параметров БВР при проведении выработок / Ю. П. Капленко, В. А. Колосов, Н. Ю. Швагер // Кривой Рог: Минерал, 2007 – 193 с.
19. **Агошков М.И.** Разработка рудных и нерудных месторождений: [учеб.] / М. И. Агошков, С. С. Борисов, В. А. Боярский // 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1983. – 424 с.
20. **Бизов В.Ф.** Вибухові роботи. Т. Х. Бібліотека гірничого інженера / В. Ф. Бизов, П. І. Федоренко // Кривий Ріг: Мінерал, 2001. – 225 с.
21. **Именитов В. Р.** Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений / В. Р. Именитов // М.: Недра, 1984 – 528 с.
22. **Biruk Y., Mwagalanyi Hannington.** Investigation of Rock-fall and Support Damage Induced by Seismic Motion at Kiirunavaara Mine. Master's thesis. Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering. 2010. P. 74.
23. **Dineva S., Boskovic M.** Evolution of seismicity at Kiruna Mine. in J Wesseloo (ed.). Proceedings of the Eighth International Conference on Deep and High Stress Mining. Australian Centre for Geomechanics. Perth. 2017. P. 125–139.
24. **Бондаренко В. И.** Технология подземной разработки пластовых месторождений полезных ископаемых: [учеб. для вузов] / В. И. Бондаренко, А. М. Кузьменко, Ю. Б. Грядущий и др. // Д.: РИК НГУ, 2002. – 730 с.
25. **Plevako Volodymyr.** Analytical study of the bending of isotropic plates, inhomogeneous in thickness [text] / Volodymyr Plevako, Volodymyr Potapov, Viktor Kycenko, Ighor Lebedynecj, Iryna Pedorych // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 4. - № 7 (82). – S. 10-16.
26. **Ткачук К.Н.** Взрывные работы в горно-рудной промышленности / К. Н. Ткачук, П. И. Федоренко // К.: Вища школа, 1990. – 295 с.
27. **Андреев К.К.** Теория взрывчатых веществ / К. К. Андреев, А. Ф. Беляев // М.: Оборонгиз, 1960. – 596 с.
28. **Хоменко О.Е.** Усовершенствование технологии добычи железных руд из охранных целиков : монография / О. Е. Хоменко // Д.: НГУ, 2007. – 99 с.

Рукопис подано до редакції 04.03.24