

О.Л. ШЕПЕЛЬ, М.В. ХУДИК, кандидати техн. наук, доценти
Криворізький національний університет
А.В. КОСЕНКО, канд. техн. наук, м.н.с.
Інститут фізики гірничих процесів, Дніпро

ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТАННЯ ЗНИЖЕННЯ ГІРНИЧОГО ТИСКУ ПРИ ВИПУСКУ РУДИ ЗА РІЗНИХ УМОВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ

Мета. Метою даної роботи є аналіз досліджень основного процесу підземних гірничих робіт, такого як випуск руди, від якого залежать показники вилучення руди.

Методи. У роботі використано такі методи: аналіз та дослідження питань пов'язаних з проблемами зниження гірського тиску на днищі блоків при випуску відбитої руди, що актуальні на теперішній час; дослідження процесу випуску руди та вплив на величину й характер розподілу тиску, що викликане вагою обвалених порід; експериментальні дослідження випуску руди в лабораторних умовах на моделях максимально приближених до реальних умов; методи аналізу та оброблення результатів експериментів.

Наукова новизна. В результаті експериментальних досліджень режимів випуску руди встановлено найбільш сприятливий з погляду величини гірського тиску на днищі та ефективну інтенсивність і порядок випуску руди із блоку. Встановлено закономірності перерозподілу тиску на днищі блоку при випуску руди. Зазначено, що збільшення довжини панелі (блоку) вхрест простягання при незмінних ширині за простяганням, інтенсивності й порядку випуску руди призводить до зростання величини максимального тиску на днищі панелі (блоку). Обґрунтовано залежність між найбільш доцільним режимом випуску руди з погляду зменшення гірського тиску.

Практична значимість. Пропонується ефективна технологія підземної розробки системами підповерхового обвалення руди та вміщувальних порід з відбійкою руди вялами глибоких свердловин та доставкою відбитої руди навантажувально-доставочною технікою.

Результати. На підставі виконаних лабораторних досліджень випуску руди встановлено, що при підвищенні інтенсивності, а, отже, і частоти випуску руди з окремих отворів тиск на виробки днища зменшується. Величина тиску, як мінімального, так і максимального зі збільшенням дози випуску збільшується. За рахунок підвищення інтенсивності відпрацювання підповерху підвищується в цілому ефективність відпрацювання запасів, тому що зніжуються строки їхньої служби. Напрямок подальших досліджень полягає у проведенні додаткових лабораторних досліджень випуску руди для більш точного визначення впливу гірничого тиску на нижню частину блоку, що відпрацьовується.

Ключові слова: руда, технологія, випуск, відбійка, гірський тиск, дослідження.

doi:10.31721/2306-5451-2022-1-54-131-137

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. На теперішній час при розробці залізородних родовищ використовуються переважно системи розробки поверхового й підповерхового обвалення руди та вміщувальних порід [1-4]. Особливу увагу треба приділяти основному процесу підземних гірничих робіт, такому як випуск руди, від якого залежать показники вилучення руди. Особливим чином впливаючи на випуск руди можливо отримати покращені показники вилучення за системою розробки в цілому. Отже, впровадження нових високоефективних технологій відпрацювання рудних покладів є актуальним науково-технічним завданням.

Аналіз досліджень і публікацій. Аналіз питань пов'язаних з проблемами зниження гірського тиску на днищі блоків при випуску відбитої руди показує, що вчені займалися дуже мало, що свідчить про встановлення нових залежностей та закономірностей на теперішній час [5-9].

Встановлено, що низькі втрати й засмічення при випуску руди отримуються при горизонтальному контакті поверхні обваленої руди з породами, що налягають, однак практично створити такі умови для випуску вдається рідко [10].

Поряд з горизонтальними розмірами блоку значний вплив на величину й характер розподілу тиску, що викликаний вагою обвалених порід, робить інтенсивність і порядок випуску руди із блоку. Збільшення інтенсивності випуску руди сприяє зниженню тиску на днище [7]. Дослідження, однак, показують, що залежно від ширини блоку й стану масиву на границях блоку вплив випуску проявляється по-різному. При цьому надзвичайно важливу роль має порядок випуску [11-13]. При нерівномірному випуску найпоширенішим на практиці, замість зниження

спостерігається зростання тиску на ті ділянки днища в межах яких випуск руди порівняно менш інтенсивний.

Отже, необхідно детальніше розглядати процес випуску руди за різних умов, що впливають.

Постановка задачі. Таким чином, необхідно обґрунтувати вибір ефективного режиму та параметри випуску відбитої руди, щоб максимально зменшити засмічення, втрати руди, значення гірського тиску на днищі блоків, а також розробити та впровадити ефективну технологію розробки залізородних родовищ системами розробки поверхового й підповерхового обвалення руди та вміщувальних порід.

Викладення матеріалу та результати. У зв'язку з нерівномірним розподілом запасів обваленної руди над рудоспусками для збереження горизонтального контакту між рудою й порожніми породами, що налягають, більш інтенсивний випуск виконується звичайно з рудоспусків у лежачого боку. Внаслідок цього поряд з різким зниженням тиску в цій частині днища спостерігається зростання тиску в центрі блока й біля висячого боку.

Це відбувається, тому що при ортовій схемі підготовки днища прийомного горизонту акумулюючий штрек, звичайно розташовується в породах лежачого боку, тому випуск відбувається в основному з першої й другої пари випускних дучок. Звідси найчастіше, виходить із ладу вентиляційний штрек, де випуск руди відбувається не інтенсивно (більша довжина скреперування) з дучок, розташованих у районі вентиляційного штреку, а тому збільшується тиск на виробки днища в цьому районі в першу чергу.

Особливо велика роль випуску в тому випадку, якщо вертикальними границями блоку служать обвалені породи.

При нерівномірному й неінтенсивному випуску руди із блоку, що граничить із двох сторін із обваленими породами, тиск значно вище, ніж у блоці, що знаходиться в масиві, навіть у тому випадку, якщо із блоку в масиві випуск руди не виконується.

Пряма залежність тиску на днища блоку, що перебуває в стадії випуску, від розміру за протяганням справедлива не тільки для окремого блоку, але й для ряду блоків, що одночасно розробляються, розділених міжблоковими ціликами достатньої ширини, представленими рудним масивом або нерухомими зруйнованими породами (рис. 1).

При зазначених умовах величина й характер розподілу тиску в кожному блоці визначається його горизонтальними розмірами й особливостями в організації випуску так само, як й в ізолюваному блоці.

Спостерігається різка зміна тиску на верхню площину міжблокових ціликів. Абсолютна величина середнього тиску на міжблоковий цілик значна й в 1,3-2,0 рази більше тиску всього стовпа обвалених порід, зростаючи зі зменшенням ширини цілика (рис. 2).

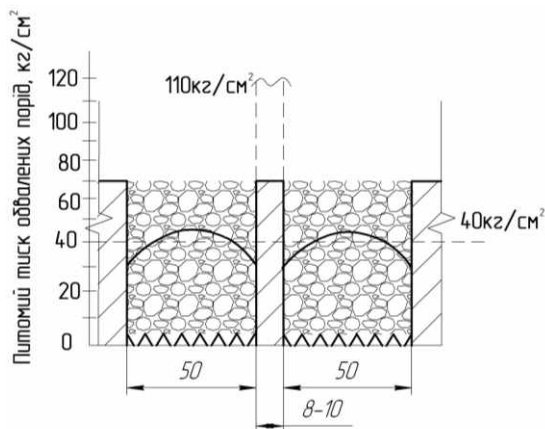


Рис. 1. Блоки, що одночасно розробляються, розділені міжблоковими ціликами достатньої ширини

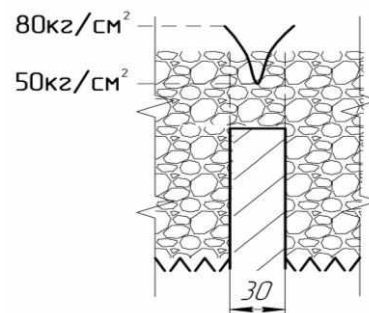


Рис. 2. Абсолютна величина середнього тиску на міжблоковий цілик

Навантаження на цілик розподіляються нерівномірно, зростаючи від середини до бічних площин. Питомий тиск обвалених порід при ширині цілика: 8 м – 110 кг/см²; 10 м – 100 кг/см²; 20 м – 65 кг/см²; 30 м – 52 кг/см²; 40 м – 52 кг/см².

Роль ціликів при одночасному випуску руди з ряду суміжних блоків можуть виконувати також міжблокові ділянки, представлені ущільненою обваленою рудою, випуск із яких не ви-

конується. При нерівномірному випуску за рахунок розвантаження тиску на ділянки днища, з яких у цей момент виконується інтенсивний випуск, додатково навантажуються сусідні обсяги обвалених порід. Внаслідок цього поряд з різким зниженням тиску на ділянки днища, розташовані в лежачому боці, де виконується інтенсивний випуск, тиск у центрі блоку значно перевищує тиск усього стовпа обвалених порід [14-17].

При випуску руди відбувається перерозподіл тиску на днищі блоку. Над випускним отвором, з якого проводили випуск, утворюється зона розпушення у зв'язку, із чим тиск у межах зони знижується. Радіус зони, у якій відбувається помітне зниження гірського тиску, залежить від кількості випущеної руди (величина дози випуску) і може бути визначений за формулою, м

$$R_3 = \sqrt[3]{Q} + 1,07d,$$

де Q – кількість випущеної з отвору руди, кг; d – діаметр випускного отвору, м.

За межами зони розпушення обвалена руда ущільнюється, і тиск на днищі збільшується. Величина приросту залежить від первісного тиску (до випуску з випускного отвору) і від відстані місця, в якому виконуються вимірювання тиску до випускного отвору, з якого виконується випуск.

Дослідами встановлено, що після випуску 100–120 м³ руди з отвору на відстані 8–10 м від його вісі тиск збільшується на 15–20%, а на відстані 12–16 м – на 30–40% від первісного. На більш віддалених ділянках наростання тиску поступово загасає. Такі закономірності розподілу тиску характерні при випуску з одного отвору.

При рівномірно-послідовному режимі випуску руди із обвалених панелей і блоків ці закономірності безупинно повторюються в міру включення в роботу інших отворів. Зміна тиску (зниження або збільшення) відбувається стрибкоподібно в період витікання руди з випускного отвору, а величина його змінюється від мінімуму до максимуму в будь-якій точці панелі (блоку). Величина мінімального тиску не залежить від розташування отвору в межах панелі (блоку) і її (його) розмірів, а визначається тільки кількістю випущеної руди.

При випуску з отвору 20–30 см³ руди величина мінімального тиску перебуває в межах 35–40 г/см². Подальший випуск руди викликає незначне підвищення гірського тиску у зв'язку зі збільшенням висоти еліпсоїда розпушення. Величина максимального тиску залежить від розмірів панелі (блоку), інтенсивності й порядку випуску руди.

Збільшення довжини панелі (блоку) вхрест простягання при незмінних ширині за простяганням, інтенсивності й порядку випуску руди призводить до зростання величини максимального тиску на днищі панелі (блоку). У панелях розміром 24×60 см цей тиск був на 25–27% більше, чим у панелях розміром 24×30 см. Особливо різко зростає величина максимального тиску на днищі панелі при збільшенні ширини панелі за простяганням.

Також необхідно відмітити вплив порядку випуску на величину гірського тиску. Тобто найбільш доцільним з погляду зменшення гірського тиску є одночасний ешелонований випуск від рудного масиву до центру площі обваленої панелі й від центра до виробленого простору. При ешелонованому й східчастому випуску руди (рис. 3) в напрямку від центра до виробленого простору значення гірського тиску становить 0,82–0,85Н_у – вага стовпа засипаного в модель матеріалу.

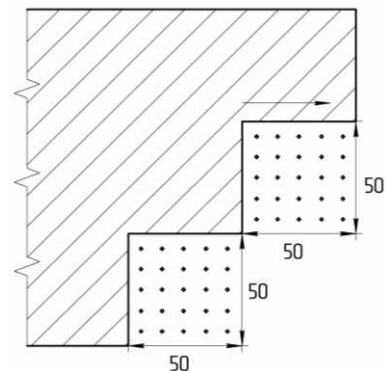
Рис. 3. Східчастий випуск руди в напрямку від центра до виробленого простору

При східчастому випуску в напрямку від виробленого простору й одночасному ешелонованому випуску від центра до флангів значення гірського тиску зразково на 10% нижче. Найбільш доцільний порядок випуску стосовно перших двох на 26% нижче й становить усього лише 0,57Н_у.

Також необхідно сказати, що вплив дози випуску й інтенсивності на величину гірського тиску:

при підвищенні інтенсивності, а, отже, і частоти випуску руди з окремих отворів тиск на виробки днища зменшується;

величина тиску, як мінімального, так і максимального зі збільшенням дози випуску збільшується.



Найбільш сприятливим з погляду величини гірського тиску на днищі є одночасний випуск із всіх випускних отворів панелі, коли доставка руди виконується човниковими скреперами або конвеєрами. З початком випуску завдяки включенню в роботу всіх випускних отворів панелі відбувається поступове розпушення руди по всій площі й зниження тиску на днище. Інтенсивність г/см^2 , т/м^2 , за хвилину або за добу для другого приклада: I – $0,02 \text{ г/см}^2$; II – $0,04 \text{ г/см}^2$; III – $0,072 \text{ г/см}^2$.

Відхилення величини максимального тиску при рівномірно-послідовному випуску до тиску при одночасному випуску із всіх випускних отворів панелі коливається в межах від 1,48 до 1,63.

Для встановлення та визначення показників вилучення руди й величини гірського тиску на виробки днища прийомного горизонту при технології, що рекомендується, при відпрацюванні потужних рудних покладів Кривого Рогу було проведено відповідні лабораторні дослідження на експериментальній моделі.

Об'ємна модель виконана в масштабі М 1:100 з передньою скляною стінкою (рис. 4). Відстань між випускними отворами – 5 м, діаметр випускних отворів – 2 м. Як сипучий матеріал використовується мартитова руда із гранулометричним складом +1 – 5 мм. Породи, що налягають, у моделі представлені крихтою граніту із гранулометричним складом +1 – 5 мм. Висота обваленого шару в панелі – 40 м. Довжина панелі, що обвалюється за простяганням – 25 м, а в вхрест простягання – 20 м.

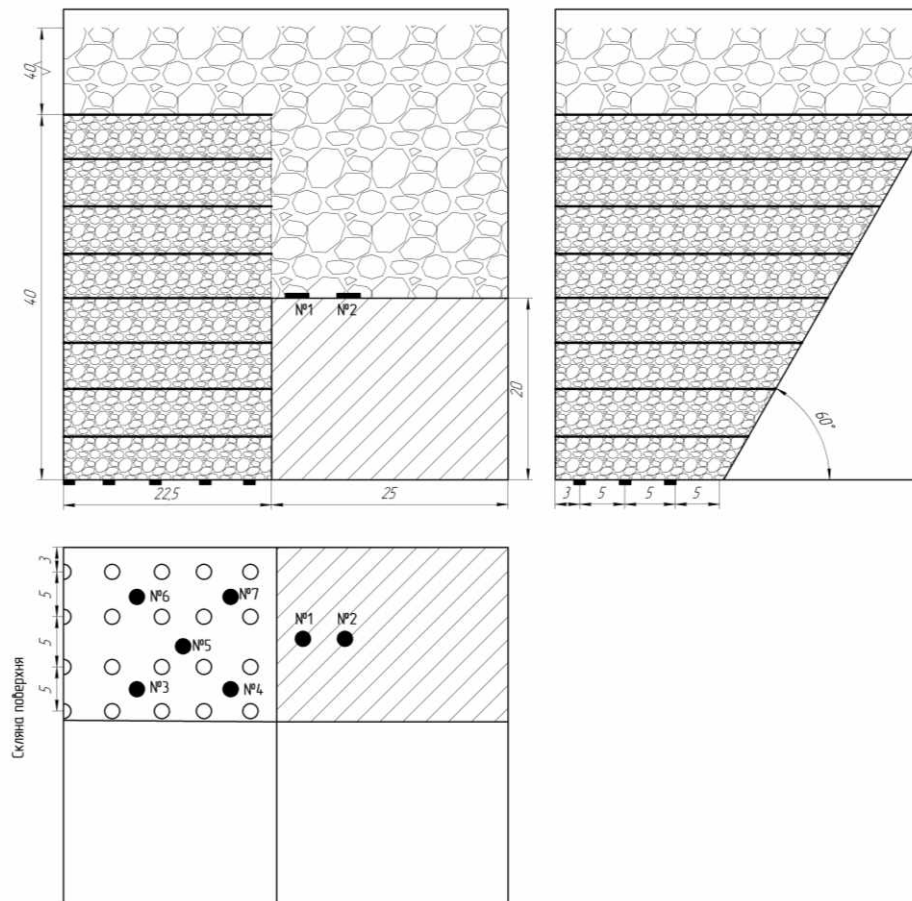


Рис. 4. Об'ємна модель для лабораторних досліджень

Для визначення тиску на днищі прийомного горизонту залежно від способу й порядку випуску руди в днищі панелі розміщуються 5 тензометричних датчиків (рис. 4). Для визначення тиску на тимчасовий цілик, довжиною за простяганням - 25 м і висотою - 20 м розміщуються два тензометричних датчики по центральній лінії цілика на відстані - 5 м від краю цілика й 10 м між тензометричними датчиками по центральній лінії.

На рис. 5, 6 показаний порядок випуску обваленої руди в панелі, що рекомендується, при способі випуску руди рівномірно-послідовними зонами на 2-3 випускні виробки. На рис 7, 8

показаний порядок випуску обваленої руди при рівномірно-послідовному режимі випуску ешелоновано в напрямку від лежачого боку до висячого боку (рис. 8) і східчато в напрямку від лежачого боку до висячого боку (рис. 7).

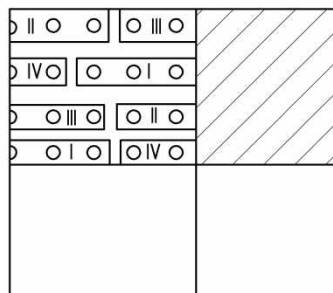


Рис. 5

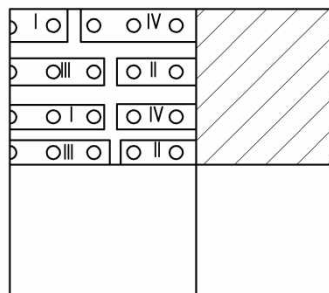


Рис. 6

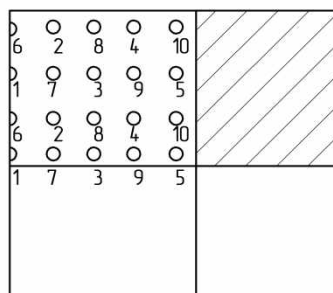


Рис. 7

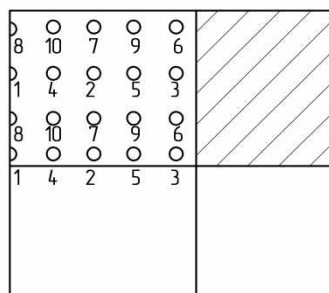


Рис. 8

Рис. 5, 6, 7, 8. Порядок випуску обваленої руди в панелі

На рис. 9 показано порядок випуску обваленої руди в панелі по черзі через один випускний отвір до початку засмічення, а на рис. 10 показано хаотичний порядок випуску обваленої руди в панелі.

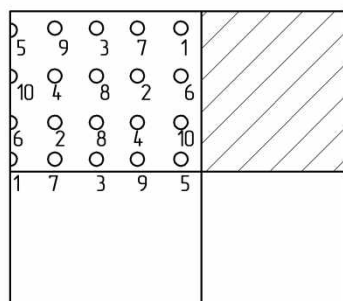


Рис. 9

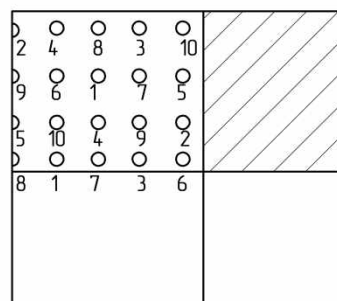


Рис. 10

Рис. 9, 10. Порядок випуску обваленої руди в панелі

За вище описаними способами випуску рекомендується технологія підземної розробки системами підповерхового обвалення руди та вміщувальних порід з відбійкою руди віялами глибоких свердловин та доставкою відбитої руди навантажувально-доставочною технікою.

Через 60 м проходять орти-заїзди, що мають сполучення з відкотним штреком. За умови, що кут падіння покладу становить 50 градусів, розробка родовища ведеться трьома підповерхами, на кожному з яких утворюється вертикальна відрізна щілина. Відбійка ведеться віялами глибоких висхідних свердловин на вертикальну відрізну щілину. З метою покращення буропідричних робіт можливо впровадити запропоновані способи відбійки рудного масиву [18, 19].

На підповерхах відбита руда скреперується до рудоспусків, що сполучаються з ортами-заїздами. Далі руда перевантажується навантажувально-доставочною технікою.

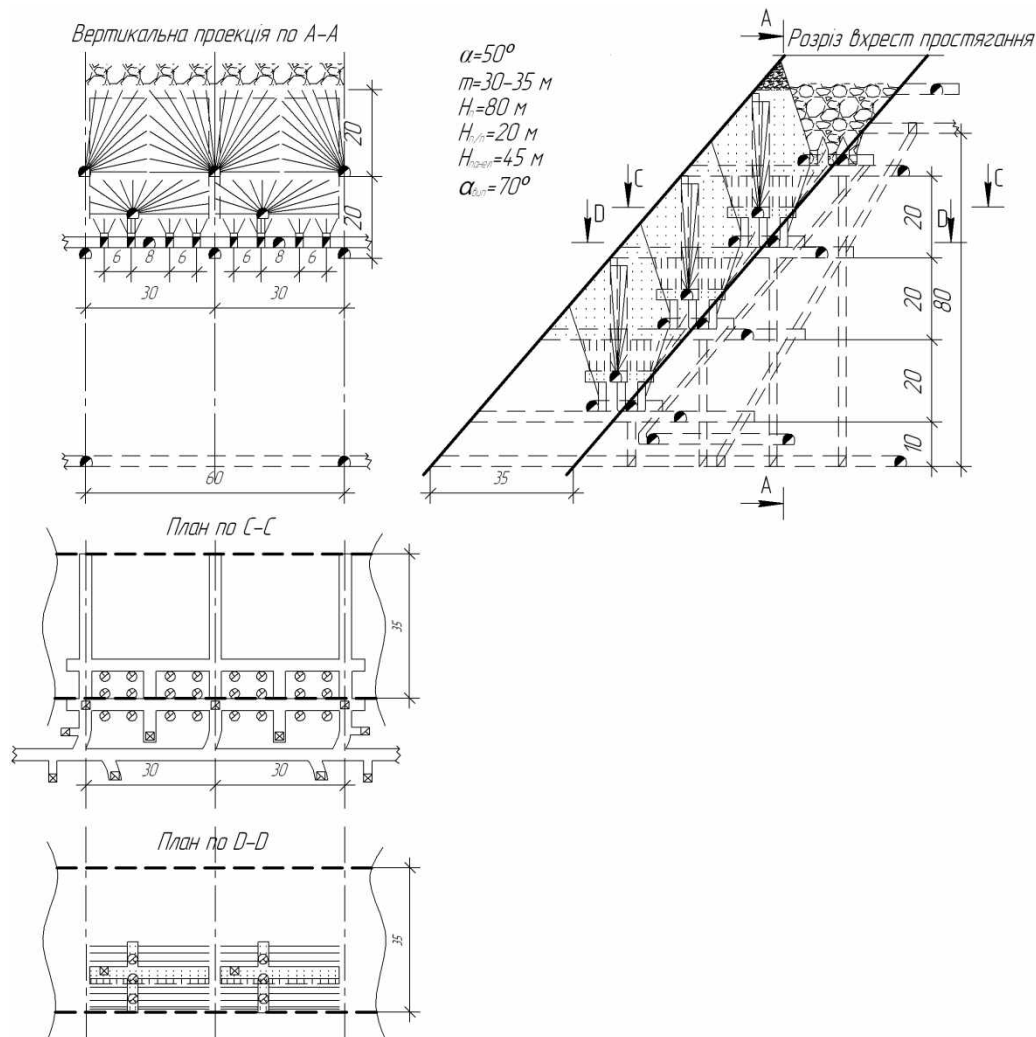


Рис. 11. Система розробки підповерхового обваління руди та вміщувальних порід з застосуванням потужної навантажувально-доставочної техніки: m – потужність покладу, м; H_n – висота підповерху, м; α – кут падіння покладу, град

Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином в подальшому рекомендована технологія розробки призводить до загального підвищення інтенсивності відпрацювання підповерхів. За рахунок підвищення інтенсивності відпрацювання підповерху підвищується в цілому ефективність відпрацювання запасів, тому що знижуються строки їхньої служби. Напрямок подальших досліджень полягає у проведенні додаткових лабораторних досліджень випуску руди для більш точного визначення впливу гірничого тиску на нижню частину блоку, що відпрацьовується.

Список літератури

1. Цариковский В.В. Перспективы применения различных систем разработки при подземной добыче руд в Кривбассе / В.В. Цариковский, А.П. Григорьев // Разработка рудных месторождений. – 2004. – №85. – С. 164–167.
2. Малахов Г.М. Теория и практика выпуска руды / Малахов Г.М., Безух Р.В., Петренко П.Д. – М.: Недра, 1968. – 311 с.
3. Ступник Н.И. Улучшение показателей извлечения руды при системе поэтажного обрушения / Н.И. Ступник, В.А. Калиниченко, О.Я. Хивренко [и др.] // Збірник наукових праць Державного підприємства «Науково-дослідний гірничорудний інститут». – Кривий Ріг: НДГРІ, 2011. – № 53. – С. 136–142.
4. Именитов В.Р. Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений / Именитов В.Р. – М.: Недра, 1984. – 504 с.
5. Калиниченко В.О. Дослідження показників вилучення руди на основі фізичного моделювання її випуску для умов глибоких горизонтів шахт Кривбасу / Калиниченко В.О., Косенко А.В., Хивренко О.Я. // Качество минерального сырья. – 2017. – Т. 1 – С. 143–155.
6. Косенко А.В. Комп'ютерне моделювання інтенсифікації технологічного процесу випуску руди під обваліними пустими породами / Косенко А.В., Тарасютін В.М., Шепель О.Л. // Гірничий Вісник. – 2018. – Вип. 104. – С. 92–96.

7. Рymarчук Б.І. Про питання зниження гірничого тиску при випуску руди з обвалених блоків / Б.І. Рymarчук, О.Л. Шепель, М.В. Худик // Вісник Криворізького національного університету. – 2020. – № 50. – С. 82–87. doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-82-87.

8. Shepel, O., Rymarчук, B. About a question of a decrease of a rock pressure at an ore drawing from the brought down blocks. Multi-authored monograph. – Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2020. – 514 p. (181–197). <https://doi.org/10.31713/m912>.

9. Pysmennyi, S., Shvager, N., Shepel, O., Kovbyk, K., Dolgikh, O. (2020). Development of resource-saving technology when mining ore bodies by blocks under rock pressure. E3S Web of Conferences, 166, art. no. 02006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016602006>.

10. Чернокур В.Р. Добыча руд с поэтажным обрушением / Чернокур В.Р., Шкробко Г.С., Шелегеда В.И. – М.: Недра, 1992. – 217 с.

11. Стариков Н.А. Системы разработки месторождений. – М.: Металлургиздат, 1967.

12. Демидов Ю.В., Аминов В.Н. Подземная разработка мощных рудных залежей. – М.: Недра, 1991. – 204.

13. Васильченко Т.П. Влияние объема и формы подсеки на уровень потерь и разубоживания руды при системе разработки с отбойкой руды в зажатой среде // Основные вопросы комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых. – М.: ИПКОН АН СССР, 1981. С. 46–56.

14. Ривкин И.Д., Волощенко В.П., Маймин Л.Р. Инструктивные указания по определению параметров систем разработки с обрушением по условиям проявления горного давления с увеличением глубины ведения горных работ на шахтах Кривбасса: Утв. 05.03.64. – НИГРИ. – Кривой Рог, 1964. – 37 с.

15. Коляда Е.И. Исследование, выбор и разработка эффективного варианта системы поэтажного обрушения, обеспечивающего снижение потерь руды в недрах / Коляда Е.И. – Кривой Рог, 1980. – С. 50–60.

16. Влох Н.П. Управление горным давлением на подземных рудниках. М.: Недра, 1994. – 208 с.

17. Зубков А.В., Леликов В.П., Пятков Ю.Ф. Распределение давления в днище блока в ходе ведения очистных работ // Подземная добыча руд черных металлов: Сб. научн. тр. / НИГРИ. – Кривой Рог, 1979. – С. 61–63.

18. B.I. Rymarчук, O.L. Shepel, M.V. Khudyk (2017), “Expediency of application of the vertical concentrated charges to decrease losses of ore on a lying wall of deposits”, Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu, no.3, pp. 32–37.

19. Rymarчук, B., Shepel, O. (2020). Ways of increase of efficiency of drilling-and-blasting. E3S Web of Conferences, 166, art. no. 03001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016603001>

Рукопис подано до редакції 24.03.2022

УДК 624.012.45:691.322+621.182.94:621.182.95

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф.,

О.Ю. СРЬОМЕНКО, М.О. ВАЛОВОЙ, кандидати техн. наук, доценти

Криворізький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ВИДОБУТКУ ТА ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНИХ РУД ПРИ БУДІВНИЦТВІ АВТОШЛЯХІВ В КРА'ЄРІ ТА НА ВІДВАЛАХ

Мета. Визначення фізико-механічних та експлуатаційних характеристик розкривних порід та хвостосховищ відходів збагачення залізних руд з метою подальшої утилізації в якості сировини для проведення робіт по улаштуванню автошляхів в кар'єрі та на відвалах.

Методи дослідження. Використано комплекс методів досліджень, який охоплює аналіз та узагальнення літературних джерел відповідно до мети роботи, лабораторні методи визначення фізико-механічних характеристик щебеню, піску, щебенево-піщаної суміші з відходів видобутку та збагачення залізних руд відповідно до чинних методик проведення випробувань.

Наукова новизна. Експериментальним шляхом були отримані фізико-механічні показники, дані про хімічний та гранулометричний склад щебеню та піску з відходів збагачення залізних руд методом сухої магнітної сепарації, «хвостів» рудозбагачувальної фабрики, мінералів розкривних порід – кварцитів окислених, мігматитів, амфіболітів, сланців, аркозових метапіщаників, джеспілітів окислених.

Практична значимість. Встановлено, що за хімічним та гранулометричним складом, показниками міцності, насипної щільності, пустотності, сумарної активності природних радіонуклідів, морозостійкості, стиранистості, лещадності, водопоглинення щебін, пісок та піщано-щебенева суміші з відходів збагачення залізних руд та мінералів розкривних порід можуть бути використані тією чи іншою мірою, при будівництві автошляхів в кар'єрі і на відвалах.

Результати. Встановлено, що за показниками міцності чинні норми обмежують використання щебеню та піску з некондиційних кварцитів, окислених кварцитів, аркозових метапіщаників лише використанням для додаткових шарів основи доріг I – III категорій та шарів дорожнього одягу доріг IV – V категорій загального призначення. В зв'язку з цим їх не бажано використовувати при будівництві автошляхів в кар'єрі та на відвалах. Показники якості, міцності та довговічності доріг з використанням цих матеріалів будуть низькими, що призведе до частих ремонтів, зниження ефективності використання автосамоскидів, збільшення витрат на утримання доріг та транспортування гірської маси. При цьому немає жодних застережень до використання щебеню та піску зі сланців, відходів збагачення амфіболітів, мігматитів, джеспілітів окислених.