

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.272: 622.646

Косенко А.В.

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

Тарасютін В.М.

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИПУСКУ РУДИ НА ОСНОВІ ФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

У науковій статті розглянута проблема зниження конкурентної спроможності підземних гірничих підприємств Кривбасу. Проаналізовані можливі наявні шляхи вирішення проблеми й виділена низка основних їх недоліків. На основі цього розроблений новий автоматизований високоінтенсивний лінійно-почерговий режим випуску. Наведено основні результати фізичного моделювання розробленого режиму випуску обваленої руди рівномірними дозами з декількох суміжних випускних отворів, які знаходяться на одній вісі та в рівномірно-послідовному режимі. Здійснена їх порівняльна оцінка за фактом вилучення чистої руди й теоретичний аналіз, на основі чого доведена доцільність застосування розробленого лінійно-почергового режиму випуску зонами від лежачого до висячого боку рудного покладу, так як у цьому випадку досягаються найкращі кількісні показники вилучення руди.

Ключові слова: підповерхневе обвалення, втрати руди, зубожіння, випуск руди, інтенсивність випуску руди, самохідна техніка, режим випуску руди, фізичне моделювання, об'ємна фізична модель.

Постановка проблеми. Розробка покладів природно багатих залізних руд на шахтах Кривбасу здійснюється різними варіантами системи підповерхневого обвалення, що зумовлено значною глибиною ведення гірничих робіт (1200–1400 м) [1–5]. Постійне пониження глибини розробки супроводжується зростанням показників утрат відбитої руди в надрах і зубожінням рудної маси [6]. Ці показники вже перевищили нормативні та постійно погіршуються [7]. При цьому основним технологічним процесом, який значним чином впливає на показники вилучення рудної маси, є випуск руди через горизонтальні днища приймальних горизонтів і її доставка в межах очисних блоків за допомогою переносного стаціонарного гірничого обладнання [7; 8]. Тому пошук можливих технологічних рішень, що забезпечать підвищення показників вилучення руди в процесі її випуску на основі дослідження можливих способів управління цим процесом, є головним науково-практичним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У ході проведеного аналізу теорії і практичного досвіду застосування системи розробки підповерхневого обвалення [1; 2; 4; 6; 9–12] установлено, що резерви подальшого конструктивного й

технологічного її вдосконалення на основі застосування стаціонарного та переносного обладнання в умовах великих глибин практично вичерпані. Експлуатація продуктивних горизонтів шахт Кривбасу з видобутку природно багатих залізних руд супроводжується низькою інтенсивністю ведення очисних робіт, яка коливається в межах 1,2–1,8 т/м² на добу [8], що дає можливість формування компенсаційних камер лише в межах 8–12% від об'ємів основного запасу виймальних одиниць за умови їх стійкості протягом усього терміну існування [12]. Тому відбивання руди здійснюється практично в затиснутому середовищі, що призводить до запресовування сипкого матеріалу [13–15]. А низька інтенсифікація технологічного процесу випуску сприяє злежуванню відбитої рудної маси [8; 14; 16]. Випуск руди й рудної маси при цьому ведеться хаотично, без дотримання встановленої програми випуску, що призводить до зменшення якісних і кількісних показників вилучення [13; 14].

Зарубіжний досвід підземної розробки родовищ корисних копалин свідчить, що одним зі шляхів значного підвищення інтенсивності технологічного процесу випуску та доставки руди є застосування високопродуктивної самохідної

доставочної техніки [6; 8–12; 16]. Але масштабному її впровадженню в умовах Кривбасу суперечать складні геомеханічні умови [6; 8; 12; 16]. Також відомо [17, с. 213], що найкращі показники вилучення руди досягаються в процесі випуску з усіх випускних виробок по всій площі днища приймального горизонту одночасно однаковими дозами, що досягти практично неможливо в реальних умовах, але добре реалізовано в комбінованій технології очисного виймання [18].

Тому ефективним способом збільшення продуктивності технологічного процесу випуску руди та забезпечення одночасного випуску руди з чотирьох випускних отворів, які знаходяться на одній осі, рівномірними дозами з однаковою періодичністю є застосування комбінованого способу доставки за допомогою комплексу «багатоковшеві скреперні лебідки 55ЛС-2С – самохідна навантажувально-доставочна машина TORO 400Е» [8; 16]. Експлуатаційна продуктивність цього комплексу може досягати 1200–1400 т/зміну, що забезпечить інтенсивність випуску руди на рівні 5,5–6,0 т/м² на добу [16].

Постановка завдання. Головною метою дослідження є встановлення раціональних параметрів технологічного процесу випуску руди на основі фізичного моделювання задля обґрунтування доцільності застосування комбінованого способу доставки за допомогою комплексу «багатоковшеві скреперні лебідки 55ЛС-2С – самохідна навантажувально-доставочна машина TORO 400Е».

Методика моделювання включала визначення кількості чистої руди в процесі її випуску з декількох (2–4) суміжних випускних отворів, які лежать на одній осі, одночасно з однаковою періодичністю (лінійно-почерговий режим випуску) при різній черговості відпрацювання випускних лінійних зон (від лежачого до висячого боку й навпаки) та різній інтенсивності (циклічними й поточними дозами) випуску руди через воронки різного діаметру та різними відстанями між ними.

Виклад основного матеріалу дослідження. З метою забезпечення збільшення кількісних показників вилучення руди розроблений лінійно-почерговий режим випуску, сутність якого полягає в тому, що випуск руди здійснюється з декількох (2–4) суміжних випускних отворів (виробок), які лежать на одній осі, одночасно з однаковою періодичністю. Для встановлення якісних залежностей покращення показників вилучення руди розроблений режим випуску порівнювався з рівномірно-послідовним, який забезпечує найкращі

показники вилучення порівняно з іншими наявними режимами випуску.

Для проведення лабораторних досліджень розроблена експериментальна об'ємна фізична модель (рис. 1), яка виконана в масштабі геометричної подібності 1:100 й відображає очисну панель з розмірами: довжина за простяганням – 25 см; висота – 80 см; ширина – 22,5 см; кут нахилу бічної стінки – 55°. Днища моделі виконані у вигляді знімних касет, у яких за заданими сітками виконані випускні отвори різного діаметру й із різними відстанями один від одного (рис. 2). Перший ряд випускних отворів на контакті з бічною стінкою моделі, яка є віссю симетрії очисної панелі, виконано у формі півколив. Похила бічна стінка моделі, яка імітує лежачий бік рудного покладу на контакті з породами, що його вміщують, виконана з дерева й має гіпсометрію, подібну до натурних умов. Інші бічні стінки моделі виконані зі скла, з нанесенням на них сітки прямих горизонтальних і вертикальних ліній розміром 5×5 см, для візуального контролю й кількісно-якісної оцінки параметрів процесу випуску.

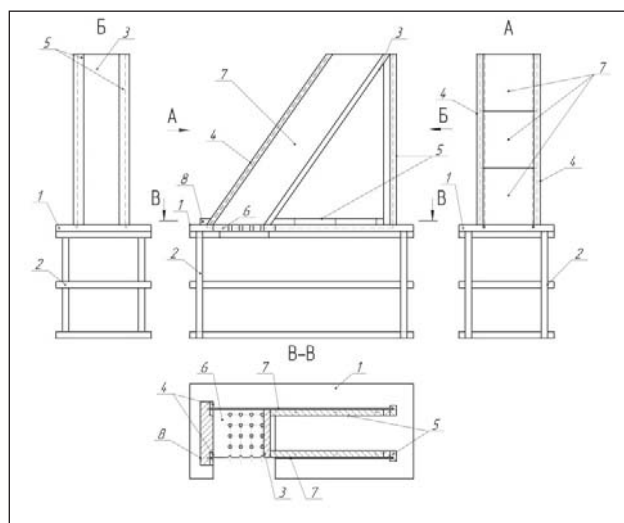


Рис. 1. Загальний вид об'ємної фізичної моделі: 1 – робочий стіл; 2 – платформа столу; 3 – задня стінка (лежачий бік) моделі; 4 – стійки передньої стінки (висячий бік) моделі; 5 – кронштейн опорний задньої стінки моделі; 6 – змінна касета днища моделі; 7 – набір скляних стінок моделі; 8 – підтримуюча планка передньої стінки моделі

У процесі проведення лабораторних досліджень як еквівалентний сипкий матеріал використовувались подрібнена руда й подрібнений граніт (таблиця 1).

Методика проведення експериментів полягає в такому.

Усі досліді щодо випуску руди виконувались до початку засмічення (вилучення чистої

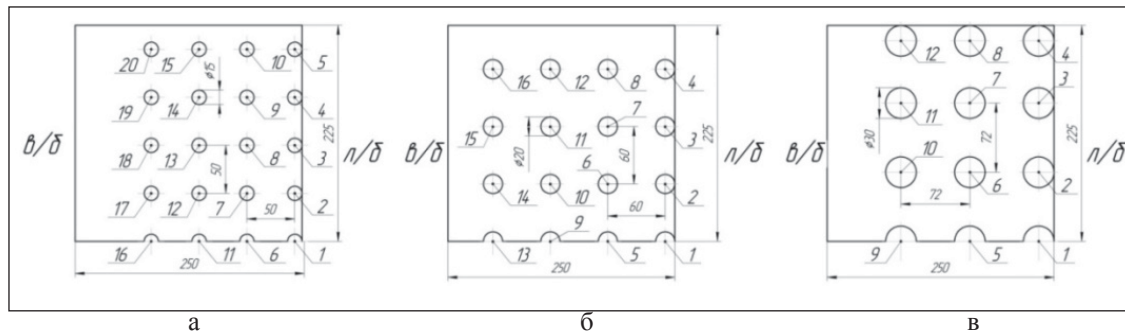


Рис. 2. Днища фізичної моделі: а – днище моделі з випускними отворами 15 мм і відстанню між ними 50 мм; б – днище моделі з випускними отворами 20 мм і відстанню між ними 60 мм; в – днище моделі з випускними отворами 32 мм і відстанню між ними 72 мм; 1–20 – номер випускного отвору; л/б і в/б – відповідно лежачий і висячий бік очисної панелі

Таблиця 1

Гранулометричний склад руди та подрібненого граніту

Сипкий матеріал	Уміст фракцій, %, при гранулометричному складі, мм				
	+0,5–1	+1–2	+2–3	+3–5	+5–7
Магнетитова руда	5,3	27,8	26,2	40,7	0
Подрібнений граніт	0	0	0	0	100

руди). Визначення коефіцієнта вилучення здійснювалось відповідно до встановленого масштабу моделювання для умов: ширина панелі – 25 м; довжина панелі – 25 м; висота панелі – 40 м. Висота засипки магнетитової руди для всіх дослідів становила 40 см без бокових контактів «обвалена руда – обвалені пусті породи». Для більшої наочності в міру засипання магнетитова руда укладалась шарами висотою 5 см з відділенням кожного лініями крейди. Після засипання магнетитової руди модель до верху заповнювалась подрібненим гранітом. Доза випуску в кожній стадії приблизно однакова й коливалась у межах 170–200 г, що дорівнює змінній нормі скреперної установки в масштабі моделювання при випуску руди за допомогою рівномірно-послідовного режиму, і 500–600 г – при випуску руди за допомогою лінійно-почергового режиму. Вага випущеної дози руди зважувалась на електронних лабораторних вагах з точністю до 1 грама.

1. Перша серія дослідів спрямована на визначення коефіцієнтів вилучення чистої руди з обваленого запасу панелі залежно від режиму випуску. У цьому випадку здійснювалось порівняння показників вилучення при застосуванні лінійно-почергового (дослід I, рис. 3, 4) і рівномірно-послідовного (дослід II) режимів випуску по всьому днищу моделі, коли діаметри випускних отворів, а також відстані за простяганням між ними й навхрест простяганням в обох випадках однакові та, відповідно, становлять 1,5 см; 5 см; 5 см (рис. 2а).

2. Друга серія дослідів спрямована на визначення коефіцієнта вилучення чистої руди з обваленого запасу панелі залежно від сітки розміщення та розмірів випускних отворів. У цьому випадку здійснювалось порівняння показників вилучення при застосуванні лінійно-почергового режиму випуску для різних діаметрів випускних отворів, відстані між ними за простяганням і навхрест простяганням, відповідно, 1,5 см; 5 см; 5 см (рис. 2а) (дослід III); 2 см; 6 см; 6 см (рис. 2б) (дослід IV).

3. Третя серія дослідів спрямована на визначення коефіцієнта вилучення чистої руди з обваленого запасу панелі від черги відпрацювання запасів панелі доставочними штреками. У цьому випадку здійснювалось порівняння показників вилучення при застосуванні лінійно-почергового режиму випуску, коли доставка руди здійснюється асиметричними зонами на половину кожного доставочного штреку (дослід V); лінійними зонами від лежачого до висячого боку рудного покладу (дослід VI); лінійними зонами від висячого до лежачого боку покладу (дослід VII). Діаметри випускних отворів, відстані між ними за простяганням і навхрест простяганням, відповідно, становлять 2,0 см; 6 см; 6 см (рис. 2б).

4. Дослід VIII (рис. 5 і 6) спрямований на визначення коефіцієнта вилучення чистої руди в разі відпрацювання запасів цілика, який огорожує панель, почергово від висячого до лежачого боку через ряд випускних отворів діаметром

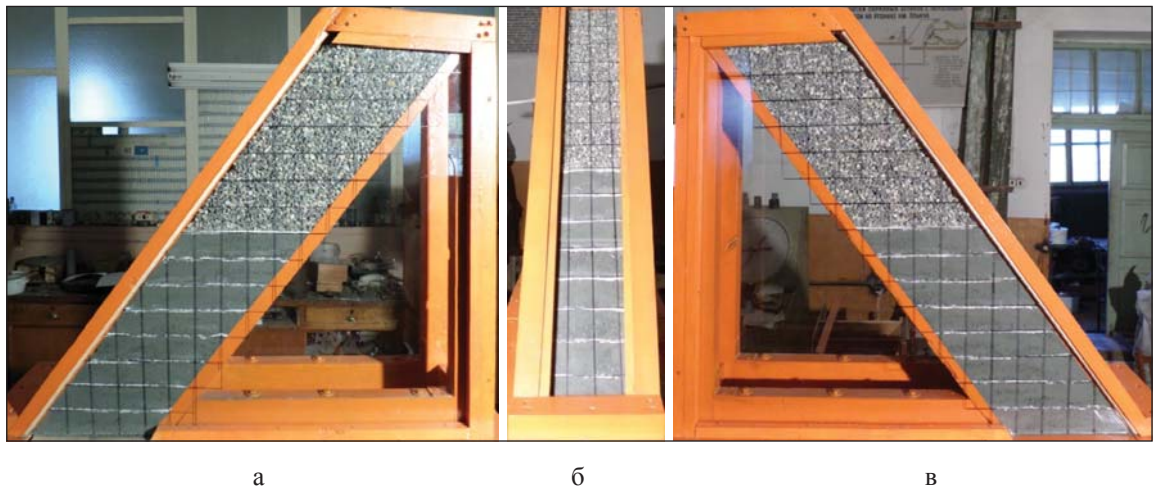


Рис. 3. Фізична модель очисної панелі після заповнення сипким матеріалом: а – вид з боку по пересіканню випускних отворів; б – вид з боку висячого боку; в – вид з боку по межі панелі

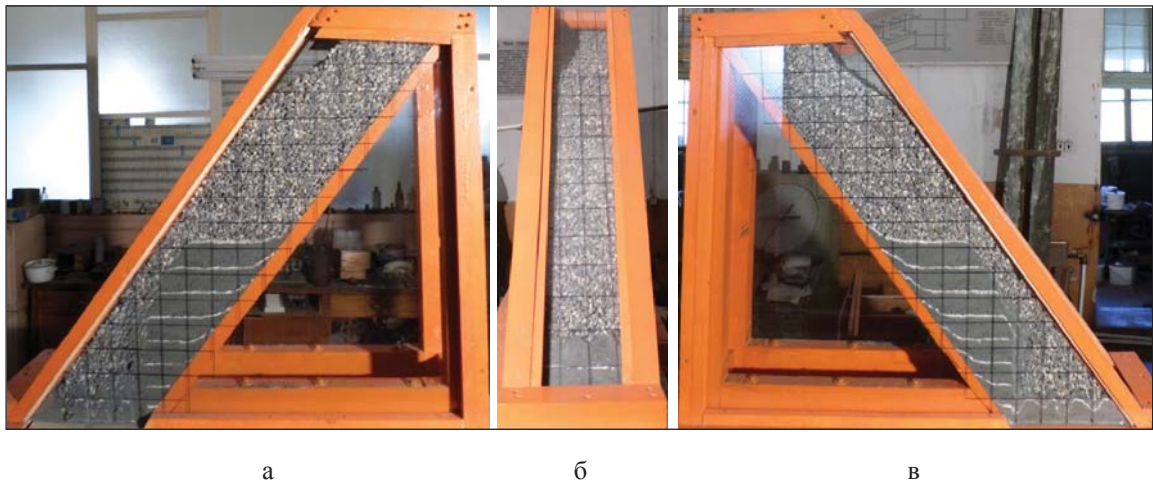


Рис. 4. Фізична модель після випуску чистої руди: а – вид з боку по пересіканню випускних отворів; б – вид з боку висячого боку; в – вид з боку по межі панелі

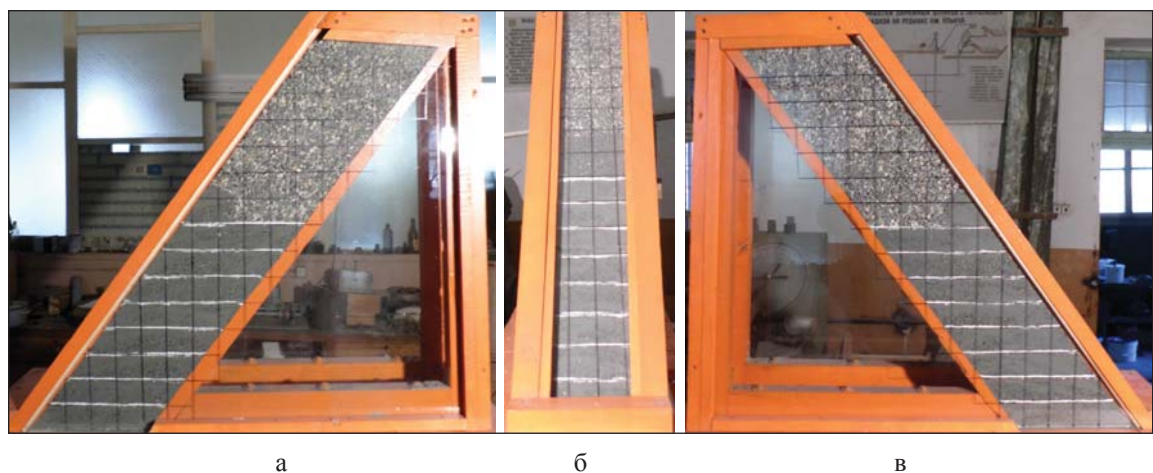


Рис. 5. Фізична модель відпрацювання цілика, що огороджує очисну панель: а – вид з боку по пересіканню випускних отворів; б – вид з боку висячого боку; в – вид з боку по межі панелі



Рис. 6. Фізична модель після випуску чистої руди при відпрацюванні цілика, що огорожує очисну панель: а – вид з боку по пересіканню випускних отворів; б – вид з боку висячого боку; в – вид з боку по межі панелі

Таблиця 1

Основні показники при вилученні руди із застосуванням різних режимів випуску

Найменування показника	Позначення	Найменування дослідів							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Кількість засипаної руди	грам	40275	40327	41727	41592	41337	41564	41296	42255
Кількість випущеної руди	грам	13573	12340	14020	13850	12897	13924	13752	10775
Відносне вилучення	%	33,7	30,6	33,6	33,3	31,2	33,5	33,3	25,5
Відносні втрати руди	%	66,3	69,4	66,4	66,7	68,8	66,5	66,7	74,5

3,2 см, що розташовані в покрівлі навантажувально-доставочної виробки через кожні 7,2 см (рис. 2в).

У таблиці 1 наведені результати фізичного моделювання різних режимів процесу випуску запасів руди з очисної панелі через виробки днища.

З таблиці видно таке:

застосування лінійно-почергового режиму випуску руди (дослід I) забезпечує збільшення показників вилучення на 3,1% абс. порівняно з рівномірно-послідовним режимом (дослід II);

у результаті пропорційного збільшення діаметра випускних отворів і відстані між ними по площі днища приймального горизонту (досліди I, III й IV) показники вилучення чистої руди залишаються приблизно однаковими, так як їх різниця становить 0,3–0,4% абс.;

найкращі показники вилучення забезпечуються, коли випуск руди здійснюється з усіх чотирьох випускних виробок рівномірними дозами з однаковою періодичністю по одній лінії виробки первинної доставки (досліди V, VI і VII);

у процесі відпрацювання запасів цілика, який огорожує очисну панель (дослід VIII), відстані між випускними отворами в покрівлі навантажувально-

вально-доставочної виробки необхідно диференціювати залежно від висоти шару руди.

Висновки. На основі проведених лабораторних досліджень установлено таке: застосування лінійно-почергового режиму випуску руди дасть змогу в практичних умовах збільшити показники вилучення щонайменше на 10%; пропорційне збільшення діаметра випускних виробок і відстані між ними по площі днища приймального горизонту не забезпечує підвищення показників вилучення руди, так як їх різниця в цьому випадку коливається в межах 0,9–1,2%; черга лінійно-почергового режиму випуску руди зонами від лежачого до висячого боку й навпаки суттєво не впливає на показники вилучення чистої руди, так як їх різниця в цьому випадку коливається в межах 0,6–1,2%, але за умови нестійких порід висячого боку, які здатні обвалюватись услід за відбитою рудою, що випускається, доцільно здійснювати випуск від лежачого до висячого боку рудного покладу; об'єм «загальної фігури випуску» руди з декількох випускних виробок при застосуванні лінійно-почергового режиму є більшим, ніж суми об'ємів фігур випуску (еліпсоїдів) з тих самих випускних виробок при застосуванні рівномірно-послідовного режиму.

Список літератури:

1. Ступник Н.И., Письменный С.В. Перспективные технологические варианты дальнейшей отработки железорудных месторождений системами с массовым обрушением руды. Вісник КНУ. 2012. Вип. 30. С. 6–10.
2. Письменный С.В. Отработка сложноструктурных залежей богатых руд камерными системами разработки. Гірничий вісник. 2014. № 97. С. 3–7.
3. Калиниченко В.А., Янов Е.К. Методика исследования напряженного состояния горного массива при формировании компенсационных пространств. Вісник КНУ. 2011. Вип. 29. С. 6–10.
4. Технология очистной выемки с учетом геомеханических процессов, возникающих на глубинах ниже 1200 м / Ф.И. Караманиц и др. Разработка рудных месторождений. 2005. Вип. 88. С. 75–80.
5. Сиротюк С.И. Геомеханическое обоснование возможности использования системы разработки с самообрушением руды на шахтах Кривбасса. Разработка рудных месторождений. 2011. Вип. 94. С. 3–6.
6. Федько М.Б., Зенюк Д.Ф. Підвищення якості рудної маси при вдосконаленні системи розробки підповерхового обвалення руди на підконсольний компенсаційний простір. Качество минерального сырья. 2011. С. 258–260.
7. Тарасюгін В.М., Косенко А.В. Фізичне моделювання технологічного процесу випуску руди для умов глибоких горизонтів шахт Кривбасу. Розвиток промисловості та суспільства: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції (м. Кривий Ріг, 24–26 травня 2017 року). Кривий Ріг: КНУ, 2017. С. 67.
8. Kosenko A.V. Improving the efficiency of production process and shipping ore on the basis of the use of self-propelled load-delivery machines technology. Science in 2018: proceedings of XIV International scientific conference (Morrisville, USA, Jan 26 2018). Morrisville, 2018. P. 6–9.
9. Brown E.T. Block Caving Geomechanics. Queensland, 2002. 515 p.
10. Ступник Н.И., Кудрявцев М.И., Басов А.М. Пути совершенствования технологи подземной разработки богатых руд Кривбасса. Вісник КТУ. 2010. Вип. 26. С. 23–26.
11. Дослідження та удосконалення технології відпрацювання покладів з застосуванням самохідної доставочної техніки / В.О. Калініченко та ін. Гірничий вісник. 2015. Вип. 99. С. 100–104.
12. Kosenko A.V. Ways of increasing qualitative and quantitative recovery percentages of ore in conditions of deep horizons of the mines of Krivbass. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського: Серія «Технічні науки». 2018. Т. 29 (68). № 2. С. 245–250.
13. Чернокур В.Р., Шкребко Г.С., Шелегеда В.И. Добыча руды с поэтажным обрушением. Москва: Недра, 1992. 271 с.
14. Черненко А.Р., Черненко В.А. Подземная добыча богатых железных руд. Москва: Недра, 1992. 224 с.
15. Неверов С.А., Васичев С.Ю. Особенности влияния глубины горных работ на параметры выпуска руды под обрушенными породами. Форум гірників – 2012: матеріали Міжнародної конференції (Дніпропетровськ, 3–6 жовтня 2012 р.). Дніпропетровськ, 2012. Т. 1. С. 98–103.
16. Kosenko A.V. Definition and justification of rational parameters of technological schemes of delivery ore mass in the process of development of natural-rich iron ore of Krivbass. Scientific research in 2018: proceedings of XV International scientific conference of students and young scientists (Kramatorsk, Feb 9th 2018). Vinnytsya, 2018. P. 85–89.
17. Ломоносов Г.Г. Производственные процессы подземной разработки рудных месторождений: учебник для вузов по специальности «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» направления подготовки «Горное дело». 2-е изд. Москва: Горная книга, 2013. 517 с.
18. Прогрессивные ресурсосберегающие технологии раздельной очистной выемки разносортных железных руд шахт Кривбасса / В.М. Тарасюгін, А.В. Косенко, И.П. Кушнерёв, М.Б. Федько. Innovative technologies in science and education. European experience: International Conference (Vienna, Austria, November 21–24, 2017). Vienna, 2017. Volume 2. P. 368–380.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫПУСКА РУДЫ НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В научной статье рассмотрена проблема снижения конкурентной способности подземных горных предприятий Кривбасса. Проанализированы возможные существующие пути решения проблемы и выделен ряд основных их недостатков. На основе этого разработан новый автоматизированный высокоинтенсивный линейно-поочерёдный режим выпуска. Приведены основные результаты физического моделирования разработанного режима выпуска обрушенной руды равномерными дозами из нескольких смежных выпускных отверстий, которые находятся на одной оси и в равномерно-последовательном режиме. Осуществлены их сравнительная оценка по факту извлечения чистой руды и теоретический анализ, на основе чего доказана целесообразность применения разработанного линейно-поочерёдного режима выпуска зонами от лежащей к висящей стороне рудной залежи, так как в этом случае достигаются наилучшие количественные показатели извлечения руды.

Ключевые слова: поэтажное обрушение, потери руды, разубоживание, выпуск руды, интенсивность выпуска руды, самоходная техника, режим выпуска, физическое моделирование, объемная физическая модель.

INVESTIGATION OF THE ORE DRAWING ON THE BASIS OF PHYSICAL SIMULATION

The scientific article considers the problem of reducing the competitive ability of the underground mining enterprises of Kryvbas. Analyzed possible existing solutions to the problem and identified a number of their main shortcomings. On the basis of what is developed a new automated high-intensive linear-alternate ore drawing. The main results of physical modeling of the developed ore drawing of the broken ore by uniform quota from several adjacent outlets which are on one axis and uniformly-consecutive ore drawing are resulted. Their comparative evaluation was carried out on the fact of extraction of headings and a theoretical analysis, on the basis of which it was proved expedient to use the developed linear-alternate ore drawing by zones from the bottom wall to the hanging wall. Since in this case the best quantitative degree of extraction are achieved.

Key words: *sub-level caving, ore loss, dilution, ore drawing, intensity of ore drawing, self-propelled machinery, condition of ore drawing, physical simulation, volumetric physical analog.*