

УДК 622.272:622.063.7

<https://doi.org/10.37101/ftpgp21.01.010>

## ПЕРСПЕКТИВНИЙ НАПРЯМОК ПОДАЛЬШОЇ РОЗРОБКИ БАГАТИХ ЗАЛІЗНИХ РУД НА ВЕЛИКИХ ГЛИБИНАХ

А.В. Косенко<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Інститут фізики гірничих процесів Національної академії наук України,  
м. Дніпро, Україна

\*Відповідальний автор: e-mail: andreyvladimirovich@email.ua

## PROMISING AREA FOR THE FURTHER DEVELOPMENT OF RICH IRON ORES AT GREAT DEPTHS

A.V. Kosenko<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Institute for Physics of Mining Processes the National Academy Sciences of  
Ukraine, Dnipro, Ukraine

\*Corresponding author: e-mail: andreyvladimirovich@email.ua

### ABSTRACT

**Purpose.** Development and feasibility study of resource-saving technology for the actual mining of rich iron ore extraction at great depths using self-propelled mining equipment.

**Methods.** Structural and functional analysis and synthesis of technological processes of the treatment excavation; physical and numerical modeling of a high-intensity technological process of ore production under collapsed waste rocks; technological design and feasibility study of process schemes for mining rich iron ores.

**Findings.** The effectiveness of the practical implementation of the developed chamber version of the technology of sub-level caving using self-propelled mining equipment has been proved. Since, compared with the base one, it will increase the economic efficiency of mining rich iron ore deposits at great depths by 27.5%.

**Originality.** The dependences of the effectiveness of the developed chamber version of the technology of sub-level caving using self-propelled mining equipment on mining-geological and mining factors are established.

**Practical implications.** A rational chamber version of the technology of sub-floor caving for mining rich iron ore deposits using self-propelled tunneling, drilling and delivery equipment has been developed, which allows to ensure: the formation of stable treatment chambers of increased volume; an increase in the qualitative and quantitative indicators of ore extraction by 4.6% and 4.8% (absolute), respectively; economic efficiency at the level of 39.4 UAH/t.

**Keywords:** rich iron ores, ore losses, dilution, recovery indicators; ore output intensity, physical modeling, numerical modeling

## 1. ВСТУП

У процесі розробки покладів багатих залізних руд Кривбасу, у зв'язку з постійним пониженням глибини ведення гірничих робіт, все більшого розповсюдження набуває система розробки підповерхового обвалення, яка для конкретних гірничо-геологічних умов має свої окремі варіанти [1].

Варіанти системи розробки підповерхового обвалення з донним випуском руди, застосуванням стаціонарного і переносного гірничого обладнання, характеризуються великим терміном підготовки (4-6 міс.) і відпрацювання очисних панелей (3,5-5,0 міс.) та, як наслідок, двох-трьох разовим перекріпленням виробок доставки і перебудуванням 30-40% глибоких свердловин, невеликим об'ємом компенсаційних камер (переважно 8-12%), втратами відбитої руди, в середньому 20%, та домішуванням до рудної маси близько 14-18% пустих порід [1-3].

Застосування стаціонарного та переносного гірничого обладнання обумовлює ведення гірничих робіт в крайнє несприятливих санітарно-гігієнічних та небезпечних умовах праці гірників [4].

Проведений аналіз теорії і досвіду застосування системи розробки підповерхового обвалення [2, 4-8] дав змогу встановити, що резерви подальшого конструктивного і технологічного вдосконалення її на основі застосування стаціонарного та переносного обладнання в умовах великих глибин практично вичерпані. Експлуатація продуктивних горизонтів шахт Кривбасу з видобутку багатих залізних руд супроводжується низькою інтенсивністю ведення очисних робіт, яка коливається в межах 1,2-1,8 т/м<sup>2</sup> на добу [9]. Що дає можливість формування компенсаційних камер, у процесі розробки покладів багатих залізних руд середньої та нижче середньої міцності і стійкості на глибині ведення гірничих робіт 1200-1400 м, лише в межах 8-12% від об'ємів основного запасу виймальних одиниць, за умови їх стійкості протягом всього терміну існування [3]. Тому відбійка руди здійснюється практично в «затисненому середовищі», що сприяє, на значних глибинах, розвитку запресовування сипкого матеріалу [10, 11]. А зростання гірського тиску з глибиною ще більше ущільнює відбиту рудну масу у межах очисних панелей за рахунок зростання гравітаційних сил [11]. В результаті чого створюються обмежені умови для випуску руди, що зумовлюють виникнення сил зчеплення між окремими частинками сипкого матеріалу в процесі їх руху до випускних виробок [10, 11].

Зарубіжний досвід підземної розробки родовищ корисних копалин свідчить про те, що істотне підвищення продуктивності праці на технологічному процесі випуску та доставки руди неможливо без застосування самохідної техніки [4-9]. Але її масштабному застосуванню, зокрема на технологічному процесі випуску і доставки, суперечать вимоги до якісного та кількісного складу видобутої рудної маси [7]. Тому одним із найбільш ефективних способів збільшення продуктивності технологічного процесу випуску та доставки руди в цьому випадку є застосування комбінованого способу за допомогою комплексу «багатоковшеві скреперні лебідки 55ЛС-2С – самохідна навантажувально-доставочна машина TORO 400E» [12]. Продуктивність даного комплексу за середніх умов може досягати 1200-1400 т/зміну, що забез-

печує інтенсивність випуску руди в межах 5,5-6,0 т/м<sup>2</sup> на добу. Досягнення такої величини інтенсивності дозволить збільшити об'єм очисних камер [3], що сприятиме покращенню умов відбійки руди і забезпечить примноження кількості чистої руди природної якості, що суттєво впливає на ціноутворення кінцевої продукції [13].

Тому розробка високопродуктивної технології очисного виймання з використанням самохідної гірничої техніки є актуальним науково-практичним завданням, а її техніко-економічне обґрунтування має велике комерційне значення.

Таким чином метою дослідження є розроблення та техніко-економічне обґрунтування ресурсозберігаючої технології очисного виймання багатих залізних руд на великих глибинах з використанням самохідної гірничої техніки.

## 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

У ході проведення досліджень використовувався комплексний метод, який включає: конструктивно-функціональний аналіз і синтез технологічних процесів очисного виймання, для виявлення основних факторів, що впливають на взаємне їх функціонування та формування принципово нових основ наукових і проектних рішень з раціонального освоєння покладів залізородних родовищ на великих глибинах; фізичне, що базується на використанні об'ємних фізичних моделей з еквівалентних матеріалів і чисельне – за допомогою персонального комп'ютера і спеціальних програмних комплексів, моделювання випуску руди, для визначення показників вилучення руди у процесі відпрацювання стелинного і міжкамерного ціликів; технологічне проектування, для розроблення конструкцій системи розробки рудних родовищ у конкретних гірничо-геологічних та гірничотехнічних умовах; техніко-економічна оцінка розробленого варіанту технології очисного виймання, для обґрунтування його економічної ефективності у порівнянні з традиційним варіантом, що використовується на практиці.

Для цього був обраний блок з усіма фактичними показниками [14]. Відпрацьована панель знаходилась у поперсі 1265-1190 м в осях 140-147 покладу «Основний» в полі шахти «Більшовик» ПАТ «Кривбасзалізрудком». Потужність покладу змінюється від 25 до 40 м. Балансові запаси руди в очисній панелі склали у середньому 340,4 тис. т. Поклад II класу розробки, представлений рудами з коефіцієнтом міцності  $f=5-7$  за шкалою професора М.М. Протодьяконова, а породи, що його вміщують: з лежачого боку –  $f=7-9$ ; з висячого боку –  $f=9-11$ . Кут падіння рудного покладу коливається в межах 52-57°.

Відпрацювання виймальних одиниць очисних блоків традиційним варіантом технології під поперхового обвалення здійснювалось за допомогою стаціонарного переносного гірничого обладнання [14]: бурові каретками типу СБКНС-2С з оснащенням колонковими перфораторами ПК-60 і навантажувально-доставочна машина типу ППН-3А, для проходки горизонтальних підготовчих гірничих виробок; перфоратори ПП-25 і скреперна лебідка 17ЛС-2С, для проходки горизонтальних нарізних гірничих виробок; комплекс КПВ і навантажувально-доставочна машина типу ППН-3А, для проходки вертика-

льних підготовчих гірничих виробок; перфоратор телескопний ПТ-48 і скреперна лебідка 17ЛС-2С, для проходки вертикальних і похилих нарізних гірничих виробок; станок НКР-100М, для буріння глибоких свердловин; скреперні лебідки 55ЛС-2С, для доставки рудної маси від виробок випуску до рудоспусків.

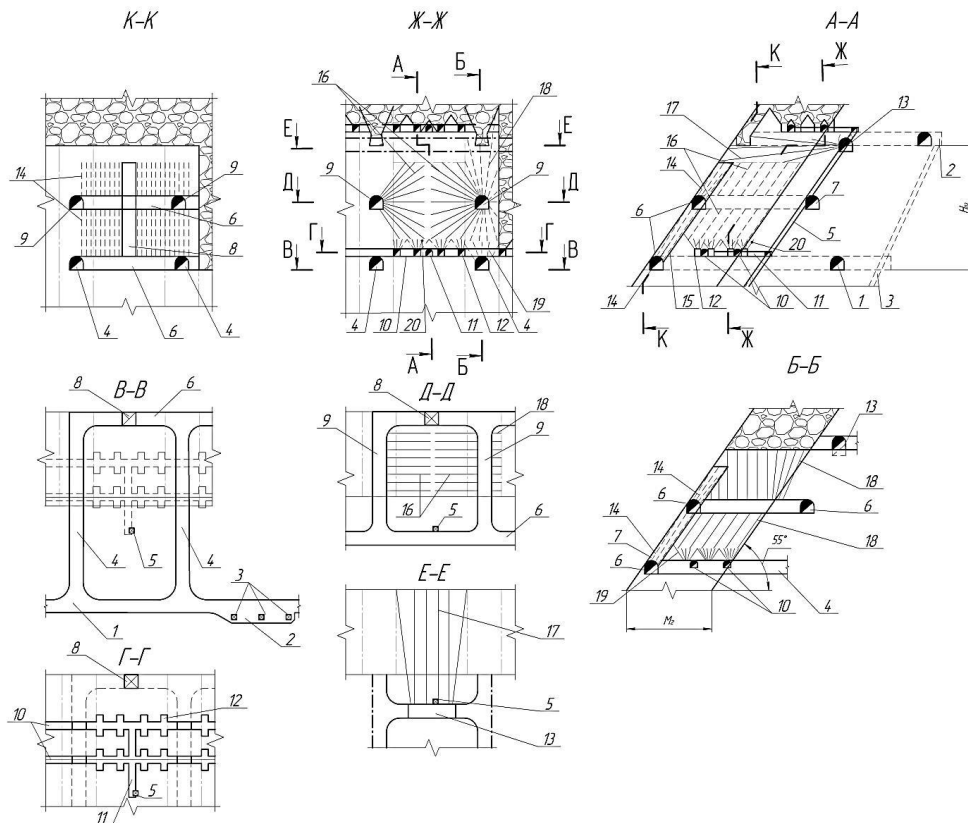
Для відпрацювання частини рудного покладу розробленим камерним варіантом технології підповерхового обвалення застосовується таке обладнання [15]: бурові каретками типу Boomer 104 (Atlas Copco) і навантажувально-доставочна машина типу EST 2D (Atlas Copco), для проходки горизонтальних гірничих виробок площею поперечного перерізу 12-14 м<sup>2</sup>; перфоратори ПП-25 («Компані Плазма») і скреперна лебідка 17ЛС-2С («Компані Плазма»), для проходки горизонтальних нарізних гірничих виробок площею поперечного перерізу 3,6-6,2 м<sup>2</sup>; станок Robbins 97RL (Atlas Copco), для проходки вертикальних і похилих підняткових виробок; телескопний перфоратор ПТ-48, для буріння штангових шпурів у процесі утворення випускних воронок над випускними нішами; станок НКР-100М, для буріння глибоких свердловин при утворенні випускних воронок у процесі відпрацювання запасів міжкамерного цілика та для утворення відрізного підняткового безлюдним способом; установка Solo 5-7P (Sandvik Mining), для буріння глибоких свердловин; багатоковшеві скреперні лебідки 55ЛС-2С («Компані Плазма») у комплексі із самохідною навантажувально-доставочною машиною TORO 400E (Atlas Copco), для доставки рудної маси від виробок випуску до капітальних рудоспусків.

Кріплення гірничих виробок здійснюється за допомогою анкерів із затягуванням металічними тросами і сіткою з використанням склопластикових ресорних підхватів [16]. Випуск обвалених рудних запасів очисних панелей здійснюється за допомогою лінійно-почергового режиму випуску [17].

Показники вилучення запасів стелинного і міжкамерного цілика визначались за допомогою фізичного і чисельного моделювання технологічного процесу випуску. Техніко-економічні розрахунки були виконані з урахуванням діючих цін на матеріали і обладнання та заробітної плати гірників, за методикою, яка наведена у роботі [18, с. 190-211] і за допомогою розробленої економіко-математичної моделі [19]. Ефективність доводилась по факту реалізації видобутої рудної сировини на ринку, на основі собівартості 1 т видобутку (франко-люк). Так як витрати, які входять у загальну шахтну собівартість, за винятком франко-люк, для обох розглянутих варіантів вважались однаковими.

### **3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

На основі проведених досліджень і розроблених рекомендацій для відробки покладів багатих залізних на великих глибинах розроблена типова технологічна схема камерного варіанту технології підповерхового обвалення з відбійкою руди глибокими свердловинами на відрізну щілину, яка орієнтована за падінням рудного покладу, з комбінованою доставкою рудної маси за допомогою комплексу «багатоковшеві скреперні лебідки 55ЛС-2С – самохідна навантажувально-доставочна машина TORO 400E» (рис. 1).



**Рисунок 1.** Принципова технологічна схема камерного варіанту системи підповерхового обвалення з використанням самохідної гірничої техніки у процесі відпрацювання покладів багатих залізних руд на глибоких горизонтах шахт Кривбасу. 1 – господарчо-транспортно-вентиляційний штрек; 2 – вузол розвантаження селективних потоків рудної маси; 3 – капітальні рудоспуски; 4 – навантажувально-доставочно-господарчі орти; 5 – збірний вентиляційний підняттєвий; 6 – відрізні штреки; 7 – господарчо-транспортний штрек; 8 – відрізнний підняттєвий; 9 – бурові орти; 10 – штреки випуску і скреперної доставки; 11 – вентиляцій орт; 12 – випускні ніші; 13 – буровий штрек для обвалення запасів стеліни; 14 – комплекти віял глибоких свердловин, для утворення відрізнної щілини; 15 – відрізна щілина; 16 – комплекти віял глибоких свердловин, для обвалення запасів очисної камери; 17 – пучки глибоких свердловин, для обвалення запасів стеліни; 18 – комплекти віял глибоких свердловин, для обвалення запасів цілика; 19 – пучки глибоких свердловин (штангових шпурів), для розвороту воронок у межах цілика; 20 – штангові шури для формування випускних воронок

Організація нарізних робіт полягає в наступному. На рівнях технологічних підповерхів, у породах лежачого боку покладу, проходять господарчо-транспортно-вентиляційний штрек 1, площею поперечного перерізу 14 м<sup>2</sup>. У господарчо-транспортно-вентиляційного штреку 1 формують вузол розвантаження селективних потоків рудної маси 2 в капітальні рудоспуски 3 діаметром 3 м. З господарчо-транспортно-вентиляційного штреку 1 проходять навантажувально-доставочно-господарчі орти 4, які збиваються між собою

відрізним штреком всячого боку 6 площею поперечного перерізу  $12 \text{ м}^2$ . До рівня бурових горизонтів проходять похилі з'їзди площею поперечного перерізу  $14 \text{ м}^2$ . На рівні нижнього бурового горизонту проходять господарчо-транспортний штрек 7 площею поперечного перерізу  $12 \text{ м}^2$ , з якого проходять бурові орти 9 площею поперечного перерізу  $12 \text{ м}^2$ . Бурові орти 9 у всячого боку рудного покладу збивають між собою відрізним штреком всячого боку 6 площею поперечного перерізу  $12 \text{ м}^2$ . На верхньому буровому горизонті, який необхідний для відбивання запасів стелини, проходять буровий орт 13 площею поперечного перерізу  $12 \text{ м}^2$ .

З відрізного штреку 6 проходиться, безлюдним способом за один вибух, відрізний піднятковий 8 розміром  $3,5 \times 4 \text{ м}$  [20].

Паралельно, з проходкою відрізного штреку 6 і відрізного підняткового 8, проходять з навантажувально-доставочно-господарчих ортів 4, на рівні їх покрівлі, штреки випуску і скреперної доставки 10 площею поперечного перерізу  $6,2 \text{ м}^2$ . Штреки випуску і скреперної доставки 10 між собою збиваються вентиляційним ортом 11 площею поперечного перерізу  $3,6 \text{ м}^2$ , який, у свою чергу, збивається зі збірним вентиляційним піднятковим 5 діаметром  $1,5 \text{ м}$ .

Очисні роботи у виймальній одиниці складаються з очисного виймання запасів камери, стелинного і міжкамерного ціликів.

Організація гірничих робіт з очисного виймання камерного запасу полягає в наступному. Після виконання нарізних робіт здійснюють формування відрізної щілини 15, шляхом поетапного, від центру до флангів, підривання комплектів віял глибоких свердловин 14. Навантаження відбитої руди здійснюється у відрізному штреку 8, з доставкою по навантажувально-доставочно-господарчим ортам 4, самохідною навантажувально-доставочною машиною типу TORO 400E.

Після формування відрізної щілини здійснюється відбивання запасів очисної панелі, шляхом поетапної секційної відбійки похилих напівкругових віял вибухових глибоких свердловин 16 (по 3-4 віяла в секції), на сформовану відрізну щілину 15, до формування очисної камери стійких розмірів. По мірі формування очисної камери, від всячого до лежачому боку, розгортають випускні ніші 12, горизонту первинної доставки, у випускні воронки, шляхом підривання пучків штангових шпурів 20.

Випуск і первинна скреперна доставка рудної маси здійснюється періодично рівномірними дозами з кожної випускної ніші 12, уздовж кожної виробки випуску і скреперної доставки 10, від лежачого до всячого боку, формуючи на підшві навантажувально-доставочно-господарчого орту 4 акумуляційний майданчик об'ємом  $40-90 \text{ т}$ .

Вторинна доставка рудної маси від акумуляційних майданчиків до вузла розвантаження 2 здійснюється самохідною навантажувально-доставочною машиною типу TORO 400E.

Після відпрацювання камерного запасу здійснюється погашення запасів стелинного цілика, шляхом підривання віял глибоких свердловин 17 на утворену очисну камеру.

Випуск і доставка обваленої рудної маси здійснюватися так само як і у процесі відпрацювання камерного запасу.

Після відпрацювання стелини здійснюється погашення запасів міжкамерного цілика, шляхом відбивання їх за допомогою кругових віял глибоких свердловин 18 на обвалені пусті породи («затиснене середовище»).

Випуск обвалених рудних запасів міжкамерного цілика здійснюється секційно, від висячого до лежачого боку рудного покладу, на підшву навантажувально-транспортно-господарчого орта 4 через випускні воронки, які формуються шляхом підривання пучків глибоких свердловин 19. Доставка рудної маси від випускних отворів до вузла розвантаження 2 здійснюється самохідною навантажувально-доставочною машиною TORO-400E.

Провітрювання очисних панелей на горизонті комбінованої доставки здійснюється за рахунок загальношахтної депресії. Свіже повітря подається з господарчо-транспортно-вентиляційного штреку 1 по навантажувально-доставочно-господарчим ортам 4 в штреки випуску і скреперної доставки 10, звідки забруднене повітря видаляється по вентиляційному орту 11, горизонту первинної доставки, до збірного вентиляційного підняттявого 5.

Провітрювання бурових горизонтів здійснюється за рахунок загальношахтної депресії та примусово за допомогою вентиляторів місцевого провітрювання.

Результати техніко-економічного порівняння варіантів технології підповерхового обвалення приведені в табл.1.

#### **4. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ**

Приведені в цій статті результати досліджень підтверджують той факт, що проблема раціональної розробки родовищ корисних копалин на великих глибинах повинна вирішуватися головним чином на основі комплексного застосування самохідної прохідницької, бурової і доставочної техніки.

Також, у ході проведення досліджень встановлено, що перспективи розвитку підземної геотехнології рудних родовищ на великих глибинах пов'язані з необхідністю вирішення таких ключових проблем: зниження до конкурентоспроможного рівня витрат на видобуток; підвищення якісних і кількісних показників вилучення; утримання річної продуктивності шахт на проектній позначці.

Результати досліджень дали змогу розробити ресурсозберігаючий камерний варіант технології підповерхового обвалення, який дозволяє підвищити стійкість підготовчо-нарізних виробок великої площі поперечного перерізу (12-14 м<sup>2</sup>), що використовуються для експлуатації самохідної гірничої техніки, завдяки раціональному просторовому розміщенню та кріпленню.

Таблиця 1. Порівняльні техніко-економічні показники традиційної і запропонованого варіантів технології очисного виймання

| Найменування показника                               | Розмірність            | Традиційний варіант технології підповерхового обвалення | Розроблений камерний варіант технології підповерхового обвалення |
|--|------------------------|---|--|
| Балансовий запас руди в блоці                        | тис. т                 | 340,4   | 340,4  |
| Питомі витрати підготовчо-нарізних виробок           | м/1000 т               | 5,08  | 3,02   |
|  | м <sup>3</sup> /1000 т | 28,82   | 26,39  |
| Продуктивність праці                                 |                        |   |  |
| на бурінні свердловин                                | т/зміну                | 721,6   | 2886   |
| на доставці  | т/зміну                | 680   | 1300   |
| за системою розробки                                 | т/зміну                | 49,5  | 67,5   |
| Час відпрацювання блоку                              | міс.                   | 6,9   | 5,1  |
| Середній вміст заліза                                |                        |   |  |
| в рудному масиві                                     | %                      | 61,07   | 61,07  |
| в породах, що засмічують                             | %                      | 36,41   | 36,41  |
| у видобутій рудній масі                              | %                      | 57,3  | 58,48  |
| Втрати руди  | %                      | 19,5  | 14,9   |
| Засмічення рудної маси                               | %                      | 15,3  | 10,5   |
| Обсяг видобутої рудної маси                          | тис. т                 | 324   | 324  |
| Відносне вилучення руди                              | част. од.              | 0,95  | 0,95   |
| Собівартість видобутку 1 т руди за системою розробки | грн/т                  | 143,26  | 128,73   |
| Додаткові питомі капітальні вкладення                | грн/т                  | –   | 10,49  |
| Оптова ціна 1 т руди з вмістом заліза 62%            | грн                    | 1889,4  | 1889,4   |
| Оптова ціна 1 т руди при даному вмісті заліза        | грн                    | 1741,7  | 1778,8   |
| Прибуток від реалізації видобутої рудної сировини    | грн                    | 515545096   | 528940712  |
| Загальний економічний ефект                          | грн                    | –   | 13395616   |
|  | %                      | –   | 27,5   |
| Питомий економічний ефект                            | грн/т                  | –   | 39,4   |



У розроблений варіант технології очисного виймання покладено ресурсозберігаючі технологічні схеми:

1. Управління стійкими параметрами очисних камер, завдяки урахуванню гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов глибоких горизонтів шахт та скороченню терміну їх існування, що дозволяють збільшити їх загальний об'єм на 4-51%.

2. Процесу відбійки рудного масиву виймальних одиниць, що враховують параметри очисних камер, тип бурової геотехніки і анізотропію рудного масиву та забезпечують: зменшення максимальної довжини вибухових свердловин до 18-20 м; зниження на 30-50% обсягів вторинного подрібнення руди; якісне оконтурювання рудного покладу, виключаючи руйнування бокових порід, які призводять до технологічного засмічення руди.

3. Комбінованого «скреперно-самохідного» способу доставки руди, що дозволяє: збільшити продуктивність технологічного процесу до 1200-1400 т/зміну; збільшити інтенсивність випуску рудної маси до 5,5-6,0 т/м<sup>2</sup> за добу; скоротити об'єм нарізних робіт завдяки виключення проходки панельних рудоспусків; організувати селективні потоки руди, рудної маси і пустих порід.

4. Процесу порядного рівномірного випуску руди, завдяки мінімізації впливу людського чинника при управлінні технологічним процесом.

На основі запропонованої технології розроблено типовий паспорт системи розробки потужних та середньої потужності залізорудних покладів із застосуванням самохідної техніки, який необхідно використати при проектуванні підземної розробки родовищ багатих залізних руд на діючих шахтах Кривбасу.

Подальші дослідження у рамках даної проблеми доцільно зосередити на вивченні комплексних заходів, що включають в себе нові технології розкриття та підготовки родовищ за допомогою самохідної прохідницької техніки.

## **5. ВИСНОВКИ**

Отже, незважаючи на великі амортизаційні відрахування та інші витратні показники розробленого камерного варіанту технології підповерхового обвалення з використанням сучасної самохідної гірничої техніки, було доведено ефективність його впровадження на практиці. Так як його застосування в практичних умовах дозволить підвищити економічну ефективність відпрацювання покладів природно-багатих залізних руд на великих глибинах в середньому на 27,5%, завдяки збільшенню кількісних і якісних показників вилучення відповідно на 4,6% та 4,8%, а також покращити якість видобутої рудної сировини на 1,18% (абсолютних). Також, у ході проведення досліджень, встановлено, що розроблена конструкція камерного варіанту технології підповерхового обвалення із застосуванням самохідної гірничої техніки дозволить забезпечити економічний ефект на рівні 39,4 грн/т.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Чернокур В. Р., Шкребко Г. С. & Шелегеда В. И. (1992). *Добыча руд с подэтажным обрушением*. Москва: Недра, 271 с.
2. Тарасютін В. М., & Косенко А. В. (2018). Обгрунтування ресурсозберігаючих технологічних процесів при підземному видобутку різносортих залізних руд Кривбасу. *Вісник КНУ*, (46), 152–159.
3. Kosenko A.V. (2018). 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»*, 29 (68), (2), 245–250.
4. Ступник Н. И., Кудрявцев М. И. & Басов А. М. (2010). Пути совершенствования технологии подземной разработки богатых руд Кривбасса. *Вісник Криворізького технічного університету*, (26), 23–26.
5. Тарапата В. Я., Караманиц Ф. И. & Ричко В. С. (2011). Перспективы технического и технологического перевооружения подземной добычи руды на глубоких горизонтах шахт Кривбасса. *Вісник КТУ*, (28), 3–6.
6. Ступник М. І., Калініченко О. В. & Калініченко В. О. (2012). Техніко-економічне обгрунтування доцільності застосування самохідної техніки на шахтах Кривбасу. *Науковий вісник Національного гірничого університету*, (5), 39–42.
7. Федько М. Б. & Зенюк Д. Ф. (2011). Підвищення якості рудної маси при вдосконаленні системи розробки підповерхового обвалення руди на підконсольний компенсаційний простір. *Качество мінерального сиров'язь*, 258–260.
8. Калініченко В. О., Швагер Н. Ю. & Чухарев С. М. (2015). Дослідження та удосконалення технології відпрацювання покладів з застосуванням самохідної доставочної техніки. *Гірничий Вісник*, (99), 100–104.
9. Ступник М. І., Калініченко В. О., Тарасютін В. М., Хівренко О. Я. & Косенко А. В. (2016). Підвищення ефективності технологічного процесу випуску і доставки руди на базі використання самохідної навантажувально-доставочної техніки. *Вісник КНУ*, (41), 141–146.
10. Черненко А. Р. & Черненко В. А. (2012). *Подземная добыча богатых железных руд*. Москва: Недра, 224 с.
11. Неверов С. А. & Васиче С. Ю. (2012). Особенности влияния глубины горных работ на параметры выпуска руды под обрушенными породами. In *Форум гірників – 2012: матеріали міжнар. конф.*, Дніпропетровськ, (1), 98–103.
12. Kosenko A.V. (2018). Increase of efficiency of technological process of ore drawing and delivery of ore mass at development of deposits of natural-rich iron ores on large depths. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського: Серія «Технічні науки»*, 29 (68), (3), 101–105.
13. Трубецкой К. Н. & Каплунов Д. Р. (2005). *Проблемы геотехнологических процессов комплексного освоения суперкрупных рудных месторождений*. Москва: ИПКОН, 248 с.
14. Проект № 148-20-11 нарезных и очистных работ в блоке 140-147 оси гор. 1220 м в п/эт. гор. 1265/1190 м зал. «Основная» п.ш. «Большевик» // ПАО «Кривбассжелезорудком» // шахта «Октябрьская» // (2011), Кривой Рог.
15. Хоменко О. Є., Кононенко & М. Н. Мальцев Д. В. (2011). *Горное оборудование для подземной разработки рудных месторождений*. Днепропетровск: НГУ, 448 с.
16. Кузьмин Е. В. (2015). Современные тенденции в технологии подземной разработки рудных месторождений. *Вестник Российской академии естественных наук* (4), 2–4.

17. Косенко А. В. & Тарасютін В. М. (2018). Дослідження технологічного процесу випуску руди на основі фізичного моделювання. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського: Серія «Технічні науки», 29 (68), (4), 73–79.*
18. Кононенко М. М., Хоменко О. Є. & Усатий В. Ю. (2013). *Вибір і розрахунок систем підземної розробки рудних родовищ.* Дніпропетровськ: НГУ, 217 с.
19. Косенко А. В. (2017). Удосконалення та обґрунтування проектних рішень у разі застосування самохідної навантажувально-доставочної техніки на технологічному процесі доставки рудної маси (на прикладі шахти «Октябрська» ПАТ «Кривбасзалізрудком»). *Молодий вчений, 2 (42), 183–190.*
20. Бабець Є. К., Ляш С. І. & Чепурной В. Є. (2012). Вдосконалення руйнування породного масиву при проходці тупикових піднятих виробок. In *Матеріали II міжнародної науково-технічної конференції: Сучасні технології розробки рудних родовищ.* Кривий Ріг: Видавничий дім, 114–115.

## REFERENCES

1. Chernokur V. R., Shkrebko H. S. & Sheleheda V. Y. (1992). *Dobycha rud s podéat-zhnyim obrushenyem.* Moskva: Nedra, 271 s.
2. Tarasyutin V. M., & Kosenko A. V. (2018). Obhruntuvannya resursozberihayuchykh tekhnolohichnykh protsesiv pry pidzemnomu vydobutku riznosortnykh zaliznykh rud Kryvbasu. *Visnyk KNU, (46), 152–159.*
3. Kosenko A.V. (2018). Ways of increasing qualitative and quantitative recovery percentages of ore in conditions of deep horizons of the mines of Krivbass. *Vcheni zapysky Tavriys'koho natsional'noho universytetu imeni V. I. Vernads'koho: Seriya «Tekhnichni nauky», 29 (68), (2), 245–250.*
4. Stupnyk N. Y., Kudryavtsev M. Y. & Basov A. M. (2010). Puty sovershenstvovanyya tekhnolohy podzemnoy razrobotky bohatelykh rud Kryvbassa. *Visnyk Kryvoriz'koho tekhnichnoho universytetu, (26), 23–26.*
5. Tarapata V. YA., Karamanyts F. Y. & Rychko V. S. (2011). Perspektyvy tekhnicheskoho y tekhnolohycheskoho perevooruzhenyaya podzemnoy dobychy rudy na hlybokyykh horyzontakh shakht Kryvbassa. *Visnyk KTU, (28), 3–6.*
6. Stupnik M. I., Kalinichenko O. V. & Kalinichenko V. O. (2012). Tekhniko-ekonomichne obgruntuvannya dotsil'nosti zastosuvannya samokhidnoyi tekhniky na shakhtakh Kryvbasu. *Naukovyy visnyk Natsional'noho hirnychoho universytetu, (5), 39–42.*
7. Fed'ko M. B. & Zenyuk D. F. (2011). Pidvyshchennya yakosti rudnoyi masy pry vdoskonalenni systemy rozrobky pidpoverkhovoho obvalennya rudy na pidkonsol'nyy kompensatsiynyy prostir. *Kachestvo mineral'noho syr'ya, 258–260.*
8. Kalinichenko V. O., Shvaher N. YU. & Chukharev S. M. (2015). Doslidzhennya ta udoskonalennya tekhnolohiyi vidpratsyuvannya pokladiv z zastosuvannyam samokhidnoyi dostavochnoyi tekhniky. *Hirnychyy Visnyk, (99), 100–104.*
9. Stupnik M. I., Kalinichenko V. O., Tarasyutin V. M., Khivrenko O. YA. & Kosenko A. V. (2016). Pidvyshchennya efektyvnosti tekhnolohichnoho protsesu vypusku i dostavky rudy na bazi vykorystannya samokhidnoyi navantazhuval'no-dostavochnoyi tekhniky. *Visnyk KNU, (41), 141–146.*
10. Chernenko A. R. & Chernenko V. A. (2012). *Podzemnaya dobycha bohatelykh zheleznykh rud.* Moskva: Nedra, 224 s.
11. Neverov S. A. & Vasyche S. YU. (2012). Osobennosti vlyyanyya hlybyny hornykh robot na parametry vypuska rudy pod obrushennymy porodamy. In *Forum hirnykiv – 2012: materialy mizhnar. konf., Dnipropetrovs'k, (1), 98–103.*

12. Kosenko A.V. (2018). Increase of efficiency of technological process of ore drawing and delivery of ore mass at development of deposits of natural-rich iron ores on large depths. *Vcheni zapysky Tavriys'koho natsional'noho universytetu imeni V. I. Vernads'koho: Seriya «Tekhnichni nauky»*, 29 (68), (3), 101–105.

13. Trubetskoy K. N. & Kaplunov D. R. (2005). *Problemy heotekhnolhycheskykh protsessov kompleksnoho osvoenyaya superkrupnykh rudnykh mestorozhdenyy*. Moskva: YPKON, 248 s.

14. Proekt № 148-20-11 nareznykh y ochystnykh rabot v bloke 140-147 osy hor. 1220 m v p/ét. hor. 1265/1190 m zal. «Osnovnaya» p.sh. «Bol'shevyk» // PAO «Kryvbasszhelezorudkom» // shakhta «Oktyabr'skaya» // (2011), Kryvoy Roh.

15. Khomenko O. YE., Kononenko & M. N. Mal'tsev D. V. (2011). *Hornoe oborudovanye dlya podzemnoy razrabotky rudnykh mestorozhdenyy*. Dnepropetrovsk: NHU, 448 s.

16. Kuz'myn E. V. (2015). Sovremennyye tendentsyy v tekhnolohy podzemnoy razrabotky rudnykh mestorozhdenyy. *Vestnyk Rossyyskoy akademyy estestvennykh nauk* (4), 2–4.

17. Kosenko A. V. & Tarasyutin V. M. (2018). Doslidzhennya tekhnolohichnoho protsesu vypusku rudy na osnovi fizychnoho modelyuvannya. *Vcheni zapysky Tavriys'koho natsional'noho universytetu imeni V. I. Vernads'koho: Seriya «Tekhnichni nauky»*, 29 (68), (4), 73–79.

18. Kononenko M. M., Khomenko O. YE. & Usaty V. YU. (2013). Vybir i rozrakhunok system pidzemnoyi rozrobky rudnykh rodovyshch. *Dnipropetrovs'k: NHU*, 217 s.

19. Kosenko A. V. (2017). Udoskonalennya ta obgruntuvannya proektnykh rishen' u razi zastosuvannya samokhidnoyi navantazhuval'no-dostavochnoyi tekhniki na tekhnolohichnomu protsesi dostavky rudnoyi masy (na prykladi shakhty «Oktyabrs'ka» PAT «Kryvbaszalizrudkom»). *Molodyy vcheny*, 2 (42), 183–190.

20. Babets' YE. K. Lyash S. I. & Chepurnoy V. YE. (2012). Vdoskonalennya ruynuvannya porodnoho masyvu pry prokhodtsi tupykovykh pidnyatevykh vyrobok. In *Materialy II mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi: Suchasni tekhnolohiyi rozrobky rudnykh rodovyshch*: Kryvyi Rih: Vydavnychy dim, 114–115.

## **ABSTRACT (IN UKRAINIAN)**

**Мета.** Розроблення та техніко-економічне обґрунтування ресурсозберігаючої технології очисного виймання багатих залізних руд на великих глибинах з використанням самохідної гірничої техніки.

**Методика.** Конструктивно-функціональний аналіз і синтез технологічних процесів очисного виймання; фізичне і чисельне моделювання високоінтенсивного технологічного процесу випуску руди під обваленими пустими породами; технологічне проектування і техніко-економічна оцінка схем процесів очисного виймання природно-багатих залізних руд.

**Результати.** Доведена ефективність впровадження на практиці розробленого камерного варіанту технології підповерхового обвалення із застосуванням самохідної гірничої техніки. Так як у порівнянні з базовим він дозволить підвищити економічну ефективність відпрацювання покладів багатих залізних руд в умовах великих глибин на 27,5%.

**Наукова новизна.** Встановлені залежності ефективності розробленого камерного варіанту технології підповерхового обвалення із застосуванням самохідної гірничої техніки від гірничо-геологічних та гірничотехнічних чинників.

**Практична значимість.** Розроблено раціональний камерний варіант технології підповерхового обвалення для відпрацювання покладів багатих залізних руд з використанням самохідної прохідницької, бурової та доставочної техніки, який дає змогу забезпечити: формування стійких очисних камер збільшеного об'єму; підвищення якісних і кількісних показників вилучення руди відповідно на 4,6% та 4,8% (абсолютних); економічну ефективність на рівні 39,4 грн/т.

**Ключові слова:** багаті залізні руди; втрати руди, засмічення рудної маси, показники вилучення, інтенсивність випуску руди, фізичне моделювання, чисельне моделювання

#### **ABSTRACT (IN RUSSIAN)**

**Цель.** Разработка и технико-экономическое обоснование ресурсосберегающей технологии очистной выемки богатых железных руд на больших глубинах с использованием самоходной горной техники.

**Методика.** Конструктивно-функциональный анализ и синтез технологических процессов очистной выемки; физическое и численное моделирование высокоинтенсивного технологического процесса выпуска руды под обрушенными пустыми породами; технологическое проектирование и технико-экономическая оценка схем процессов очистной выемки богатых железных руд.

**Результаты.** Доказана эффективность внедрения на практике разработанного камерного варианта технологии поэтажного обрушения с применением самоходной горной техники. Так как по сравнению с базовым он позволит повысить экономическую эффективность отработки залежей богатых железных руд в условиях больших глубин на 27,5%.

**Научная новизна.** Установлены зависимости эффективности разработанного камерного варианта технологии поэтажного обрушения с применением самоходной горной техники от горно-геологических и горнотехнических факторов.

**Практическая значимость.** Разработан рациональный камерный вариант технологии поэтажного обрушения для отработки залежей богатых железных руд с использованием самоходной проходческой, буровой и доставочной техники, который позволяет обеспечить: формирование устойчивых очистных камер увеличенного объёма; повышение качественных и количественных показателей извлечения руды соответственно на 4,6% и 4,8% (абсолютных); экономическую эффективность на уровне 39,4 грн/т.

**Ключевые слова:** богатые железные руды, потери руды, разубоживание, показатели извлечения; интенсивность выпуска руды, физическое моделирование, численное моделирование

#### **ABOUT AUTHORS**

Kosenko Andrii, Junior Researcher, Institute for Physics of the Mining Processes of National Academy of Sciences of Ukraine, 2A Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49600. E-mail: andreyvladimirovich@email.ua