

А. В. КОСЕНКО, асистент,
В. М. ТАРАСЮТІН, О. Л. ШЕПЕЛЬ, кандидати техн. наук, доценти,
Криворізький національний університет

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИПУСКУ РУДИ ПІД ОБВАЛЕНИМИ ПУСТИМИ ПОРОДАМИ

Мета. Встановити кількісні залежності величини тиску в межах фігури випуску від інтенсивності технологічного процесу випуску для різних параметрів очисної панелі та об'ємної ваги обвалених пустих порід, що налягають.

Методи дослідження. Чисельне моделювання високо-інтенсивного технологічного процесу випуску руди під обваленими породами; аналітичний метод дослідження.

Наукова новизна. Набула подальшого розвитку залежність зміни величини тиску у межах фігури випуску, що базується на урахуванні інтенсивності протікання технологічного процесу випуску, умов контакту очисної панелі з не обваленим рудним або породним масивом та обваленими пустими породами, які вміщують очисну панель та їх об'ємної ваги, яка на відміну від відомої враховує розташування очисної панелі за потужністю рудного покладу, глибину ведення очисних робіт і клас розробки покладу та знаходиться у прямій пропорційній логарифмічній залежності від інтенсивності протікання технологічного процесу випуску, еквівалентної ширини очисної панелі, яка характеризує умови її контакту з обваленими пустими породами, що вміщують рудний масив та їх об'ємної ваги, потужності рудного покладу, глибини ведення очисних робіт і оберненій пропорційній залежності від класу розробки покладу.

Практична значимість. Встановлена залежність зміни величини тиску у межах фігури випуску в діапазоні інтенсивності технологічного процесу випуску руди від 1,5 до 12 т/м² за добу, що дозволить встановити прогностні показники вилучення при застосування високопродуктивної самохідної навантажувально-доставочної техніки.

Результати. Встановлено, що величина тиску у межах фігури випуску знаходиться у прямій пропорційній логарифмічній залежності від інтенсивності протікання технологічного процесу випуску, еквівалентної ширини очисної панелі, об'ємної ваги обвалених пустих порід, які вміщують рудний масив, потужності рудного покладу, глибини ведення очисних робіт і оберненій пропорційній залежності від класу розробки покладу, а область зони пониження тиску у процесі випуску рудної маси знаходиться у пропорційній залежності від інтенсивності його протікання і кількості випускних виробок з яких здійснюється випуск рівномірними дозами з приблизно однаковою інтенсивністю.

Ключові слова: чиста руда, теорія випуску руди, інтенсивність випуску руди, показники вилучення, чисельне моделювання, логарифмічна залежність.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-92-96

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Визначення показників вилучення руди для умов підземного Кривбасу здійснюється за допомогою затвердженої методики [1]. Проведені розрахунки за якою показали, що зміна показників вилучення чистої руди, а відповідно і рудної маси, здійснюється у діапазоні зміни інтенсивності технологічного процесу випуску у межах від 0,5 до 1,5 т/м² на добу, яка забезпечується продуктивністю скреперної доставки. Подальше збільшення інтенсивності зовсім не впливає на показники вилучення, що унеможливує проведення розрахунків показників вилучення рудної маси у разі застосування високопродуктивної самохідної гірничої техніки на технологічному процесі випуску і доставки [2].

Аналіз досліджень та публікацій. Практичний досвід і наукові дослідження [3-8] у галузі теорії та практики процесу випуску руди під обваленими пустими породами, які ґрунтуються на лабораторному моделюванні, теоретичних узагальненнях і шахтних експериментах показали, що значним чином на показники вилучення руди впливає інтенсивність її випуску, збільшення якої значно знижує втрати руди і покращує умови експлуатації виробок доставки в результаті зменшення гірничого тиску на днище приймального горизонту.

Постановка завдання. Метою роботи є встановлення кількісних залежностей величини тиску в межах фігури випуску від інтенсивності технологічного процесу випуску для різних параметрів очисної панелі та об'ємної ваги обвалених пустих порід, що налягають.

Для проведення чисельного моделювання був обраний програмний пакет EDEM методу дискретних елементів (DEM Solutions Ltd), так як він є узагальненим методом скінчених елементів (FEM) [9]. Метод дозволяє моделювати велику кількість частинок сипкого матеріалу у процесі виконання різних промислових операцій гірничої галузі [9].

Моделювалися умови II класу розробки покладу потужністю 60 м на глибині ведення гірничих робіт 1400 м, очисними панелями довжиною за простяганням 25 м і навхрест простягання рудного покладу: 20 м; 30 м; 35 м – для забезпечення еквівалентної ширини очисної панелі: 20 м; 25 м; 30 м; 35 м; 40 м, яка характеризує умови контакту панелі з обваленими пустими породами, що вміщують рудний масив [10]. Дискретне середовище для кожного досліду в модель укладалось з різними показниками щільності по висоті ($K_p=1,1-1,4$), імітуючи вибухову відбійку рудного масиву різної міцності на компенсаційний простір об'ємом 25%. У ході моделювання також змінювались: інтенсивність випуску руди через випускні отвори у межах від 0,5 до 12 т/м² за добу з інтервалом у 0,5; кількість випускних отворів змінювалась одиночним інтервалом від 1 до 4, з яких здійснюється випуск рівномірними дозами з приблизно однаковою періодичністю; об'ємна вага обвалених пустих порід, які вміщують рудний масив в межах від 2,0 до 2,7 т/м³ (зі сталими показниками (т/м³): 2,0; 2,2; 2,5; 2,7).

Викладення матеріалу та результати. Одна зі стадій моделювання представлена на рис. 1.

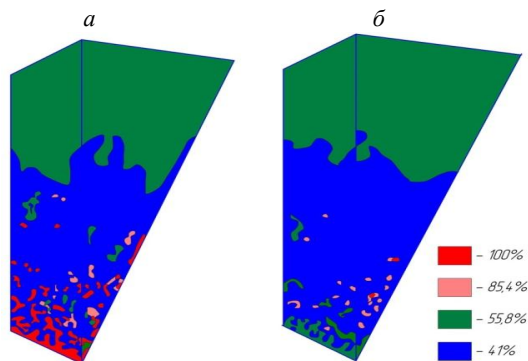


Рис. 1. Моделювання випуску руди з моделі за умов однакової інтенсивності технологічного процесу випуску: *a* – з кожного випускного отвору по черзі рівномірними дозами (рівномірно-послідовний режим випуску); *b* – рівномірними дозами з чотирьох випускних отворів, які лежать на одній осі, з приблизно однаковою періодичністю (лінійно-почерговий режим випуску)

Результати проведеного моделювання представлені на рис. 2 і 3 у вигляді графіків залежності зміни величини тиску в межах фігури випуску для різних видів контактів (еквівалентної ширини) очисної панелі з обваленими пустими породами і об'ємної ваги обвалених пустих порід.

За даними проведеного моделювання отримані аналітичні вирази залежності величини тиску в межах фігури випуску від інтенсивності протікання технологічного процесу випуску, еквівалентної ширини очисної панелі і об'ємної ваги обвалених порід, які вміщують рудний масив, МПа:

для $6 < I \leq 12$ т/м² за добу

$$P = 0,9793^I \cdot 1,0351^{A_e} \cdot 1,5347^{\gamma_n} \cdot 0,1973, \quad (1)$$

детермінований коефіцієнт $R^2 = 0,9910$

для $1,5 < I \leq 6$ т/м² за добу

$$P = 0,9726^I \cdot 1,0351^{A_e} \cdot 1,5347^{\gamma_n} \cdot 0,2715, \quad (2)$$

детермінований коефіцієнт $R^2 = 0,9878$

для $0,5 < I \leq 1,5$ т/м² за добу

$$P = 0,5927^I \cdot 1,0351^{A_e} \cdot 1,5347^{\gamma_n} \cdot 0,5582, \quad (2)$$

детермінований коефіцієнт $R^2 = 0,9926$,

де I – інтенсивність технологічного процесу випуску рудної маси, т/м² за добу; A_e – еквівалентна ширина очисної панелі, м; γ_n – об'ємна вага обвалених порід, що вміщують масив, т/м³.

Таким чином з аналізу отриманих виразів (1-3) встановлено, що тиск у межах фігури випуску знаходиться у логарифмічній залежності від інтенсивності технологічного процесу випуску рудної маси, еквівалентної ширини очисної панелі і об'ємної ваги обвалених пустих порід, що вміщують рудний масив.

Але так як вертикальна складова напружень в елементарному об'ємі рудного масиву на різній глибині для умов Кривбасу має різне числове значення [34], а математичні вирази (1-3) були отримані для умов II класу розробки покладу потужністю 25 м на глибині 1400 м, то для умов, коли рудний поклад потужністю від 10 до 90 м відпрацьовується в діапазоні глибини від 1200 до 1500 м, величину тиску обвалених порід на верхній межі підповерху, на основі переводу графічного матеріалу в числовий масив, можна описати виразом, МПа:

$$P_{B(III)} = 1,0093^m \cdot 1,00046^H \cdot 3,6635, \quad (4)$$

детермінований коефіцієнт $R^2 = 0,9999$

де m – потужність рудного покладу, м; H – глибина ведення очисних робіт, м.

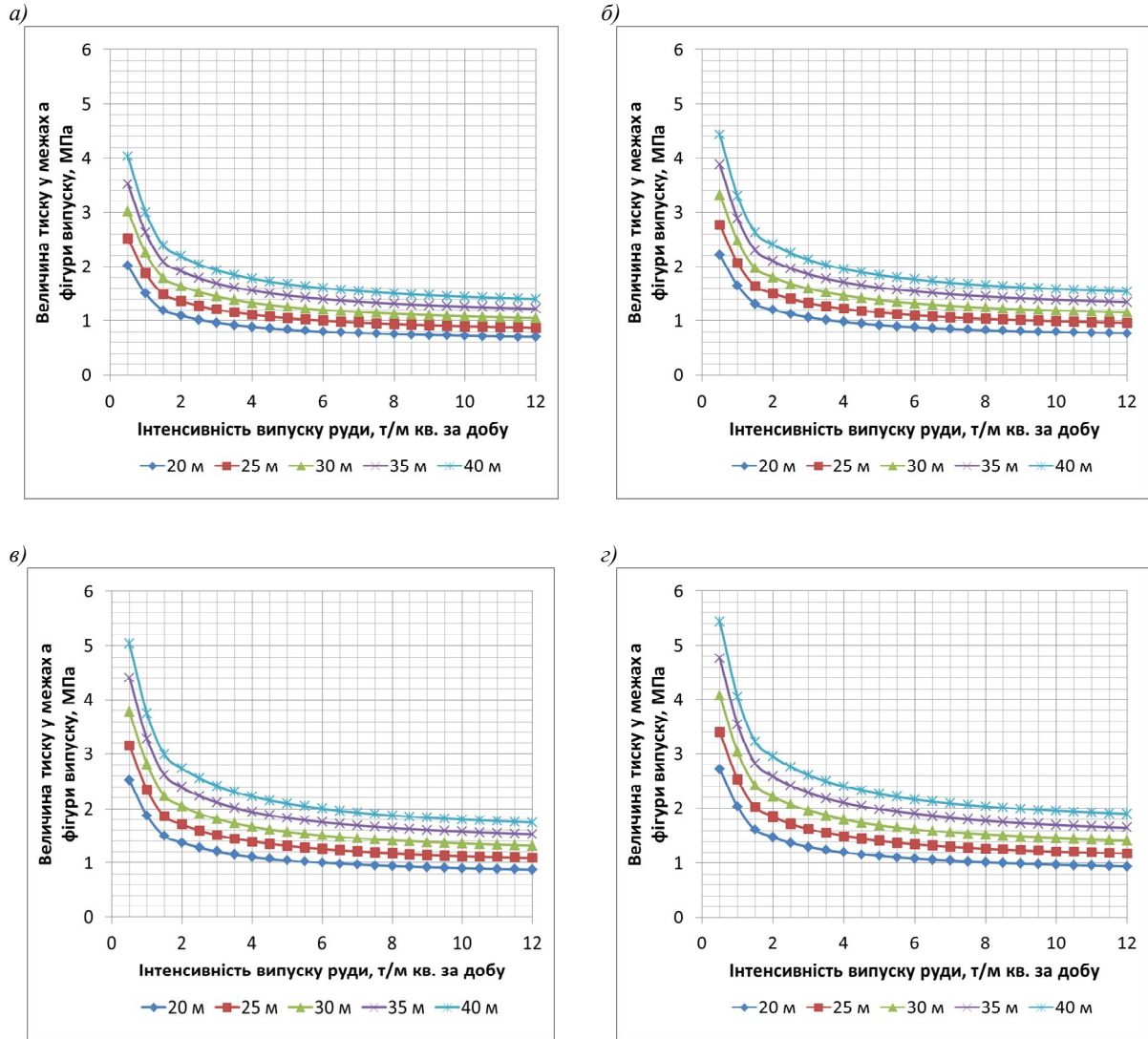
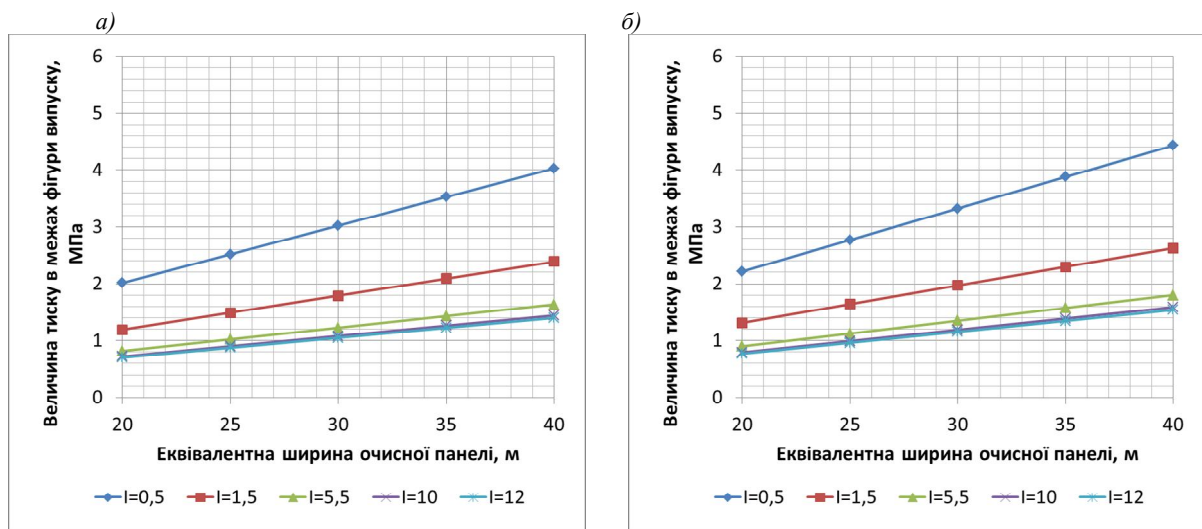
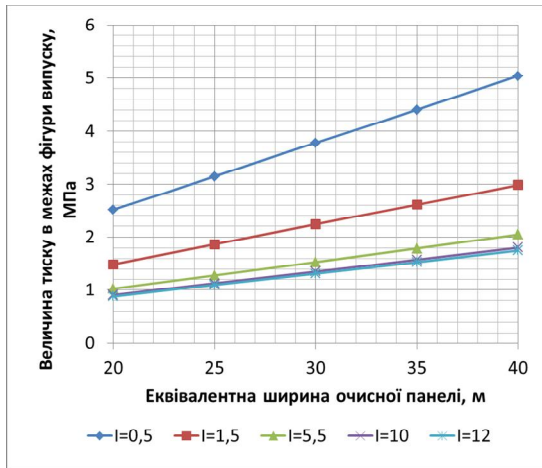


Рис. 2. Графіки залежності зміни величини тиску в межах фігури випуску від інтенсивності технологічного процесу випуску руди для різної еквівалентної ширини очисної панелі: *a* – об’ємна вага пустих обвалених порід становить 2,0 т/м³; *б* – об’ємна вага пустих обвалених порід становить 2,2 т/м³; *в* – об’ємна вага пустих обвалених порід становить 2,5 т/м³; *г* – об’ємна вага пустих обвалених порід становить 2,7 т/м³



в)



з)

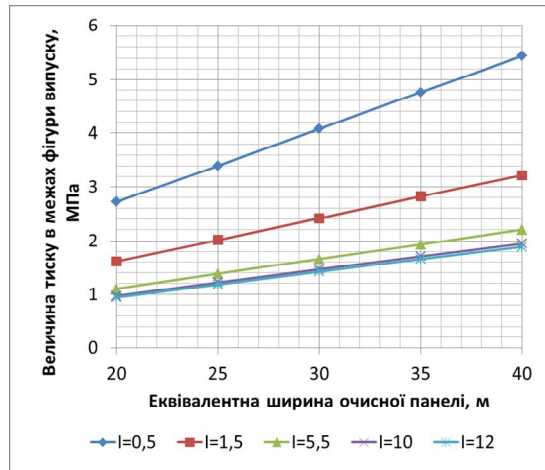


Рис. 3. Графіки залежності зміни величини тиску в межах фігури випуску від еквівалентної ширини очисної панелі для різної інтенсивності технологічного процесу випуску руди: а – об'ємна вага пустих обвалених порід становить 2,0 т/м³; б – об'ємна вага пустих обвалених порід становить 2,2 т/м³; в – об'ємна вага пустих обвалених порід становить 2,5 т/м³; г – об'ємна вага пустих обвалених порід становить 2,7 т/м³

Тоді коефіцієнт, який враховує відношення тиску на різній глибині буде розраховуватись за виразом, част. од.

$$K_1 = \frac{1,009336^m \cdot 1,000462^H \cdot 0,45522}{0,87}, \quad (5)$$

Таким чином виведені наступні математичні вирази, МПа:

для $6 < I \leq 12$ т/м² за добу

$$P = \frac{0,9793^I \cdot 1,0351^{A_e} \cdot 1,5347^{\gamma_n} \cdot 0,1973 \cdot K_1}{K_2}, \quad (6)$$

для $1,5 < I \leq 6$ т/м² за добу

$$P = \frac{0,9726^I \cdot 1,0351^{A_e} \cdot 1,5347^{\gamma_n} \cdot 0,2715 \cdot K_1}{K_2}, \quad (7)$$

для $0,5 < I \leq 1,5$ т/м² за добу

$$P = \frac{0,5927^I \cdot 1,0351^{A_e} \cdot 1,5347^{\gamma_n} \cdot 0,5582 \cdot K_1}{K_2}, \quad (8)$$

де I – інтенсивність технологічного процесу випуску рудної маси, т/м² за добу; A_e – еквівалентна ширина очисної панелі, м; γ_n – об'ємна вага обвалених порід, що вміщують рудний масив, т/м³; K_1 – коефіцієнт, який враховує зміну тиску в залежності від потужності рудного покладу та глибини ведення очисних робіт, част. од; K_2 – коефіцієнт, який враховує клас розробки покладу ($K_2 = 0,8$ – III клас розробки покладу; $K_2 = 1$ – II клас розробки покладу, $K_2 = 1,6$ – I клас розробки покладу), част. од.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Проведене моделювання дало змогу встановити той факт, що у момент початку витікання з випускного отвору сипкий матеріал змінює свої механічні властивості. Ці явища супроводжуються змінами статичного тиску, який встановлюється перед початком випуску сипкого матеріалу. Також встановлено, що навантаження на днище залежать від глибини ведення очисних робіт, положення очисної панелі відносно потужності рудного покладу та кількості контактів з обваленими породами, що описується еквівалентною шириною очисної панелі, і змінюється в процесі випуску. Так як у процесі випуску над випускним отвором, з якого проводиться випуск, утворюється зона розпушення, в результаті чого тиск в цій зоні знижується. Розмір зони розпушення пов'язаний з розмірами фігури випуску і збільшується в залежності від кількості випускних виробок з яких одночасно здійснюється випуск, але величина тиску в цій зоні залишається сталою.

У ході проведених досліджень було встановлено, що величина тиску у межах фігури випуску знаходиться у прямій пропорційній логарифмічній залежності від інтенсивності протікання технологічного процесу випуску, еквівалентної ширини очисної панелі, об'ємної ваги обвалених пустих порід, які вміщують рудний масив, потужності рудного покладу, глибини ведення очисних робіт і оберненій пропорційній залежності від класу розробки покладу, а область зони пониження тиску у процесі випуску рудної маси знаходиться у пропорційній залежності від інтенсивності його протікання і кількості випускних виробок з яких одночасно здійснюється випуск. Що дасть можливість проводити прогностичні розрахунки показників вилучення руди у діапазоні інтенсивності протікання технологічного процесу випуску в межах від 1,5 до 12 т/м² за добу у разі застосування високопродуктивної самохідної навантажувально-доставочної техніки у процесі розробки покладів природно-багатих залізних руд технологією підповерхового обвалення на великих глибинах.

Список літератури

1. Инструкция по нормированию, прогнозированию и учету показателей извлечения руды из недр при подземной разработке железорудных месторождений. / **Азарян А. А., Колосов В. А., Моргун А. В.** [и др.] – Кривой Рог: Минерал, 2012. – 135 с.
2. **Косенко А. В.** Комп'ютерне моделювання технологічного процесу випуску руди для умов розробки покладів природно-багатих залізних руд різної міцності / **А. В. Косенко** // Молодий вчений. – 2017. – №10. – С. 59-64.
3. **Черненко А. Р.** Подземная добыча богатых железных руд / **А. Р. Черненко, В. А. Черненко.** – М.: Недра, 1992. – 224 с.
4. **Brown E. T.** Block Caving Geomechanics / **E. T. Brown.** – Queensland, 2002. – 515 p.
5. **Vidyapati Vidyapati.** Constitutive modeling of dense granular flow based on discrete element method simulations: a thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy / **Vidyapati Vidyapati.** – Iowa, Iowa State University, 2012. – 168 p.
6. **Matthew Edward Pierce.** A model for gravity flow of fragmented rock in block caving mines: a thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy / **Matthew Edward Pierce.** – Queensland, 2010. – 63 p.
7. **Michael Ivan Kosowan.** Design and Operational Issues for Increasing Sublevel Cave Intervals at Stobie Mine: a thesis submitted to the School of Mining Engineering in conformity with the requirements for the degree of Master of Applied Science / **Michael Ivan Kosowan.** – Ontario, 1999. – 143 p.
8. **Castro R. L., Vargas R., F. de la Huerta** // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2012. – volume 112. – Pp. 871-876.
9. Применение метода дискретных элементов для моделирования процессов в горно-металлургической промышленности // **Феоктистов А. Ю., Каменецкий А. А., Блехман Л. И.** [и др.] // Записки Горного института. – 2011. – Т.192 – С. 145-149.
10. Визначення та контроль допустимих розмірів конструктивних елементів систем розробки залізних руд / **Є. К. Бабец, С. В. Сиротюк, В. В. Царіковський** [та ін.] – К.: Мінпромполітики, 2010. – 121 с.

Рукопис подано до редакції 11.04.2018

УДК 622.271.0123.004.15

С. А. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., Криворожский национальный университет
А.Н. КОСТЯНСКИЙ, канд техн. наук, НИГРИ, Криворожский национальный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ ЭТАПА ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КАРЬЕРА ПРИ РАЗРАБОТКЕ НАКЛОННЫХ И КРУТЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

Цель. Определение глубины следующего этапа отработки железорудного карьера при разработке наклонных и крутых залежей с учетом влияния его основных параметров с помощью предложенного показателя, а также последующий анализ полученных результатов расчета.

Методы исследования. Анализ и обобщение литературных источников, а также ранее выполненных исследований. Системный подход к учету влияющих факторов на основе изучения количественных зависимостей и применения аналитических методов исследования при решении аналогичных задач позволил проводить обработку и интерпретацию полученной информации при определении глубины следующего этапа отработки карьера. С использованием аналитико-математического метода установлен показатель для достоверной оценки и технико-экономического сравнения расчетных параметров карьера при обосновании глубины дальнейшего этапа его разработки.

Научная новизна. При установлении аналитической зависимости оценочного показателя для обоснования экономичности следующей очереди углубки действующего железорудного карьера, в качестве которого принимается величина эксплуатационного коэффициента вскрыши, наряду с наиболее значимыми технико-экономическими показателями товарной продукции, учитывается также качество добываемой руды выраженное содержанием железа

© Жуков С. А., Костянский А.Н., 2018