

УДК 622.271.33: 622.275

Перегудов Ю.В., канд. техн. наук,
Перегудов В.В., канд. техн. наук
(ГП «ГПИ «Кривбасспроект»)

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЕДЕНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ ПРИ ВОВЛЕЧЕНИИ В ОТРАБОТКУ ПОДРАБОТАННЫХ БОРТОВ КАРЬЕРА

Перегудов Ю.В., канд. техн. наук,
Перегудов В.В., канд. техн. наук
(ДП «ДП «Кривбасспроект»)

ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВЕДЕННЯ ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ ПРИ ЗАЛУЧЕННІ ДО ВІДРОБКИ ПІДПРАЦЬОВАНИХ БОРТІВ КАР'ЄРУ

Peregudov Iu.V., Ph.D. (Tech.),
Peregudov V.V., Ph.D. (Tech.)
(SE «SPI «Krivbassproekt»)

VALIDATION OF THE QUARRYING TECHNOLOGY WITH INVOLVED UNDERMINED PIT WALLS

Аннотация. Целью работы является исследование возможностей вовлечения в открытую разработку запасов, расположенных в зоне возможного воронкообразования.

В работе проведен анализ современного состояния рынка железорудного сырья. Установлено, что для повышения конкурентоспособности отечественных предприятий целесообразно расширять сырьевую базу действующих карьеров путем вовлечения дополнительных запасов, ранее утерянных в процессе подземной разработки. Предложена технология безопасной отработки данных участков, путем заполнения их дробленой скальной породой с поверхности уступов карьера. Описаны теоретические закономерности прохождения сухой дробленой породы по закладочным скважинам.

Предложенные технологические решения показывают возможность дополнительного вовлечения в открытую разработку 30 млн. т сырой руды в условиях отработки карьера №1 ЧАО «ЦГОК».

Ключевые слова: карьер, подземные пустоты, совместная разработка.

Введение. Современные тенденции ценообразования на рынке железорудного сырья характеризуются устойчивым снижением спроса, и, соответственно, снижением цены на мировом рынке. Это накладывает жесткие условия на производителя в плане достижения оптимальной себестоимости товарной продукции для способности к конкуренции с мировыми лидерами производства железорудного концентрата. В таких условиях особенно актуальным для криворожских предприятий является сохранение производственных мощностей без больших капитальных вложений.

Это возможно, развивая три основных научных направления: улучшение

качества обогащения железистых кварцитов; разработка техногенных месторождений; обоснование технологии вовлечения ранее утерянных участков в отработку открытым способом. И если первые два направления получили достаточное освещение в научной литературе [1, 2], то третье является недостаточно изученным на данный момент.

Ярким примером возможности вовлечения дополнительных, ранее утерянных запасов железной руды, является Глееватское месторождение, разрабатываемое карьером №1 ПАО «ЦГОК». Проблема возникла после отхождения от плана совместных открытых и подземных работ, в результате чего подземные работы стали существенно опережать открытые (в вертикальной плоскости) и восточный борт карьера оказался в зоне возможного воронкообразования. Было принято решение о консервации горных работ на восточном борту.

На данный момент, согласно проекту дальнейшего развития горных работ, для поддержания производственной мощности карьера на текущем уровне 6 млн. т в год необходимо вовлечение восточного борта в отработку не позднее 2021 года. Однако безопасной и экономически целесообразной технологии отработки восточного борта предложено не было.

Целью работы является научное обоснование технологии, позволяющей вовлекать ранее утерянные в результате подземной разработки участки месторождений в открытую разработку.

Изложение материала и результатов. Безопасность открытых горных работ в зоне влияния подземной разработки предлагается обеспечивать путем перепуска дробленых скальных пород через наклонные закладочные скважины, пробуренные с безопасной рабочей зоны карьера, при этом объем подаваемых пород должен превышать разницу между начальным объемом пустоты и объемом разрушенных в результате дальнейшего сводообразования пород.

Для обоснования достаточного прохождения дробленого скального материала внутри закладочной скважины, были установлены закономерности движения дробленой скальной породы в наклонных закладочных скважинах в зависимости от коэффициента внешнего трения и размеров кусков закладочного материала.

Выполненная аппроксимация данных работы [3], позволила получить аналитическое выражение для описания зависимости угла внешнего трения φ^1 разрушенной скальной породы от ее крупности d (в миллиметрах) в следующем виде:

$$\varphi^1 = 67,7 \cdot d^{0,145}, \text{ град.} \quad (1)$$

Качество аппроксимации данной зависимости: $R^2 = 0,986$.

Использование аналитической зависимости вида (1) позволило численно определить закономерность изменения времени скольжения отдельных фракций сыпучего материала по поверхности закладочной скважины в зависимости от их линейных размеров.

Было получено следующее выражение для определения времени скольжения отдельных фракций сыпучего материала

$$t = \sqrt{\frac{2L}{g[\sin \alpha - \operatorname{tg}(67,7 \cdot d^{-0,145}) \cos \alpha]}} \quad (2)$$

где L – длина закладочной скважины, м; d – линейный размер куска породы в закладочном материале, мм; α – угол наклона скважины, град.

Совместное решение уравнений (1–2) позволило получить эмпирическое соотношение для определения максимального размера куска породы, который уже не будет скользить по поверхности закладочной скважины в зависимости от ее угла наклона в следующем виде:

$$d \leq \left(\frac{67,7}{\alpha} \right)^{6,9} \quad (3)$$

где d – линейный размер куска породы в закладочном материале, мм; α – угол наклона скважины, град.

Пропускная способность скважины составит

$$Q = 4,9 \cdot (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha) \cdot j \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D - 1,5d_{cp})^2 \quad (4)$$

где f – угол внешнего трения, доли ед.; j – коэффициент заполнения скважины (0,3–0,5); D – диаметр скважины, м; D_{cp} – диаметр среднего куска подаваемой породы, м.

С целью установления пригодности скального материала, извлекаемого в карьере, для закладки подземного выработанного пространства были проведены исследования фактического гранулометрического состава взорванной горной массы, которое производилось по фотоснимкам поверхности развала [4] на карьерах СевГОКа, скальная порода на которых обладает аналогичными физико-механическими свойствами с породой карьера №1 [5].

В табл. 1 приведены результаты определения грансостава взорванного вскрышного блока № 93 (гор. –10/–25 м) Первомайского карьера.

В табл. 2 приведены результаты определения грансостава взорванного вскрышного блока № 24 (гор. 0/–15 м) Анновского карьера.

Таблица 1 – Результаты определения грансостава взорванного вскрышного блока № 93 (гор. –10/–25) Первомайского карьера

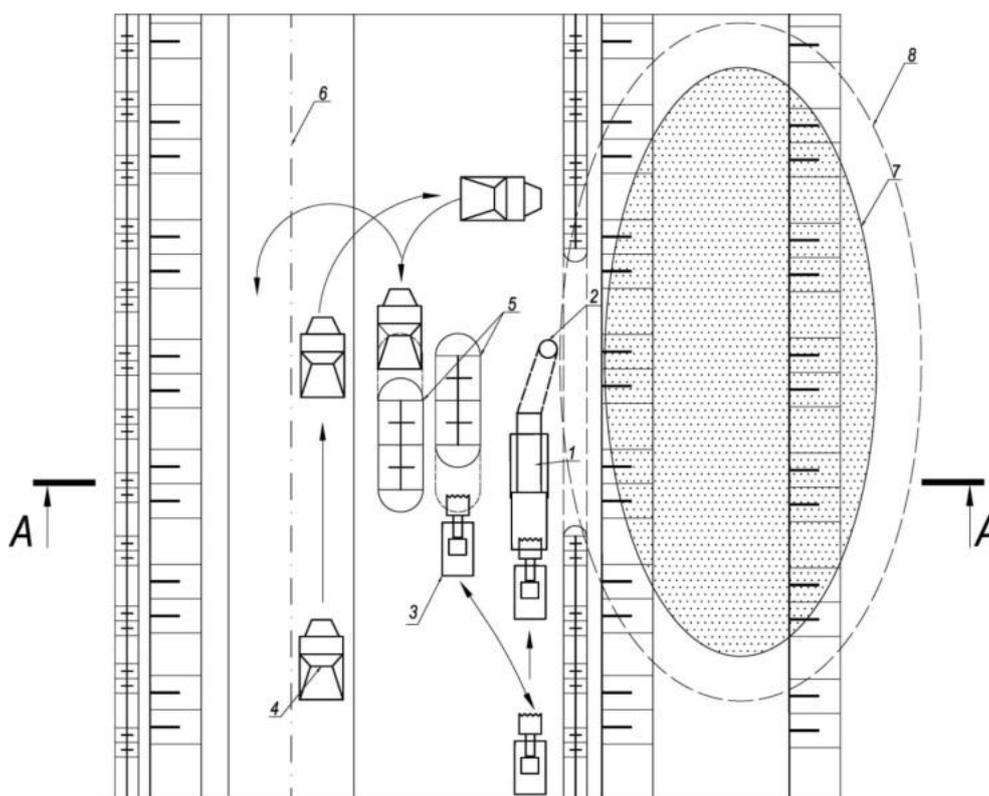
Процентный выход фракций, мм						D _{ср} , мм
0 – 200	201 – 300	301 – 400	401 – 500	501 – 1200	>1200	
33,3	8,4	7,2	7,6	38,1	5,4	456,4

Таблица 2 – Результаты определения грансостава взорванного вскрышного блока № 24 (гор. 0/+15) Анновского карьера

Процентный выход фракций, мм						D _{ср} , мм
0 – 200	201 – 300	301 - 400	401 - 500	501 - 1200	>1200	
12,7	20,1	11,6	18,5	36,0	2,1	444,9

Таким образом, размер среднего куска взорванной скальной вскрышной породы на карьерах находится в пределах 450 мм. Учитывая, что максимальный размер куска в закладочном материале d_{max} не должен превышать 0,25 внутреннего диаметра закладочной скважины D [6], его использование без предварительного дробления невозможно.

В качестве дробильного устройства предлагается использовать мобильные дробильные установки крупного дробления, что позволит подготавливать закладочный материал непосредственно на площадке погашения. Технологическая схема погашения пустот с рабочей зоны карьера приведена на рис 1.



- 1 – мобильная дробилка; 2 – устье закладочной скважины; 3 – колесный погрузчик;
4 – автосамосвал; 5 – временный склад горных пород; 6 – ось автодороги;
7 – проекция выхода пустоты на поверхность; 8 – берма безопасности

Рисунок 1 - Схема организации работ по заполнению пустот

Ширина минимальной рабочей площадки $Ш_{p.nl}$ (м) при заполнении пустот

$$Ш_{p.nl} = B + c + Ш_{\partial} + 2z + 2k + p + Ш_{mp} + g, \quad (5)$$

где B – берма безопасности, м; c – расстояние от бермы безопасности до дробилки, м; $Ш_{\delta}$ – ширина мобильной дробилки, м; z – безопасное расстояние от временного склада до технологического оборудования, м; k – ширина по подошве временного склада горных пород, м; $Ш_{mp}$ – ширина транспортной бермы, м; g – минимально допустимое расстояние от нижней бровки уступа до транспортной полосы, м.

Расчет ширины рабочей площадки приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры рабочей площадки при организации закладочных работ с размещением дробильного оборудования на рабочей площадке

Б, м	Ш _д , м	z, м	к, м	р, м	Ш _{тр} , м	g, м	c, м	Ш _{р.пл.} , м
5	5	1,5	5,7	1	18	3	2	48,4

Таким образом, ширина рабочей площадки при погашении пустот не превышает нормальную ширину рабочей площадки на криворожских карьерах.

Размер среднего куска породы после дробления на мобильной дробилке составляет в среднем 150 мм. Современное буровое оборудование для проходки скважин большого диаметра [7] позволяет бурить нисходящие скважины диаметром 0,6-1,5м. Пропускная способность при диаметре скважины 0,8 м, угле ее наклона 70° и значении размера среднего куска подаваемой горной породы в пределах 100–150 мм составит 0,27–0,34м³/с.

Выводы. Учитывая, что общий объем перепуска закладочного материала для обеспечения безопасности отработки восточного борта Глееватского карьера составляет 4,5 млн. м³, а срок отработки борта – 6 лет, предложенный комплекс технологического оборудования позволяет обеспечить вовлечение дополнительных, ранее утерянных запасов железной руды в отработку открытым способом объемом 30 млн. т.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Grigoryev, Yulian. Dry raw material technogenic deposits formation and development technique / Nikolay Pyzhik, Yulian Grigoryev // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2015. – № 3. – P. 298–302.
2. Pikilnyak, A. Adaptive control system of the iron ore flotation using a control action based on high-energy ultrasound / A. Pikilnyak // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2015. – № 2. – P. 27-30.
3. Барон, Л.И. Характеристики трения горных пород / Л.И. Барон. – М.: Наука, 1967. – 208 с.
4. Бабаянц, Г.М. О степени точности определения кусковатости руды фотопланиметрическим способом с точечным подсчетом / Г.М. Бабаянц // *Горный журнал*. – №4. – 1964. – С. 85–89.
5. Анализ влияния взрывных работ с использованием эмонита на качество подготовки железной руды для переработки на рудообогатительной фабрике: отчет по НИР / Науч. рук. В.В. Перегудов. – Кривой Рог: Криворожский технический университет, 2007. – 119 с.
6. Справочник по горнорудному делу / [под ред. В.А. Гребенюка, Я.С. Пыжьянова, И.Е. Ерофеева]. – М.: Недра, 1983. – 816 с.
7. Дей, В.Г. Буровая установка «Рино» для проходки восстающих выработок / В.Г. Дей // *Неделя Горняка* – 2008: сб. научн. трудов. – 2008. – С. 132–136.

REFERENCES

1. Pyzhik, Nikolay and Grigoryev, Yulian (2015), “Dry raw material technogenic deposits formation and development technique”, *Metallurgical and Mining Industry*, no. 3, pp. 298–302.
2. Pikilnyak, A. (2015), “Adaptive control system of the iron ore flotation using a control action based on high-energy ultrasound”, *Metallurgical and Mining Industry*, no. 2, pp. 27-30.

3. Baron, L.I. (1964), *Harakteristiki trenya gornyx porod* [Characteristics of rock friction], Nauka, Moscow, USSR.
4. Babayants, G. M. (1964), "The degree of accuracy in determining ore lumpiness by fotometric method with a point counting", *Mining Journal*, no. 4, pp. 85-89.
5. Peregudov, V.V. et al. (2007), *Analiz vliyaniya vzryvnykh robot s ispolzovaniem emonita na kachestvo podgotovki zheleznoy rudy dlya pererabotki na rudoobogatitelnoy fabrike: otchet o NIR* [Analysis of the impact of blasting using of emonite on the quality of the preparation of iron ore to be processed at ore-dressing factory: Report of research], Kryvoy Ryh national university, Kryvoi Rog, Ukraine.
6. Grebeniuk, V.A., Pyzhyanova, Y.S and Erofeeva, I.E. (ed.) (1983), *Spravochnik po gornorudnomu delu* [Mining Handbook], Nedra, Moscow, USSR.
7. Dey, V.G. (2008), "Drilling rig "Rhino" for the rising tunneling openings", *Mining Week*, pp. 132-136.

Об авторах

Перегудов Юрий Владимирович, кандидат технических наук, заведующий группой горного отдела института ГП «ГПИ «Кривбасспроект», Кривой Рог, Украина, yvperegudov@gmail.com.

Перегудов Владимир Владимирович, кандидат технических наук, ГПИ «ГПИ «Кривбасспроект», Кривой Рог, Украина, peregudov1vv@gmail.com.

About the authors

Peregudov Iurii Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Head Of Group In The Mining Department In Project Institute Krivbassproect, Kryvyi Ryh, Ukraine, yvperegudov@gmail.com.

Peregudov Volodymyr Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Project Institute Krivbassproect, Kryvyi Ryh, Ukraine, peregudov1vv@gmail.com.

Анотація. Метою роботи є дослідження можливостей залучення до відкритої розробки запасів, що розміщені у зоні можливого воронкоутворення.

В роботі проведено аналіз стану ринку залізорудної сировини. Встановлено, що для підвищення конкурентоспроможності вітчизняних підприємств доцільним є розширення сировинної бази діючих кар'єрів шляхом залучення додаткових запасів, що раніш були втрачені в процесі підземної розробки. Запропоновано технологію безпечної розробки даних ділянок шляхом заповнення їх меленою скальною породою з поверхні уступів кар'єру. Описано теоретичні закономірності проходження сухої меленої породи по закладним свердловинам.

Запропоновані технологічні рішення показують можливість додаткового залучення у відкриту розробку 30 млн. т сирової руди в умовах відпрацювання кар'єру №1 ПАТ «ЦГЗК».

Ключові слова: кар'єр, підземні порожнини, сумісна розробка.

Abstract. Objective of the research is to study possibility to involve into quarrying operations those mineral resources, which are located in zone of possible funnel formation.

Analysis of the current iron-ore market state shows that in order to improve competitiveness of domestic enterprises it is necessary to involve additional reserves of minerals, which were previously lost during the underground mining operations. It is recommended to apply technology of safety mining of these areas by filling them with the crushed rocks taken from the surface of the quarry benches. Theoretical laws of the dry crushed rocks passing through the stowing wells are described.

The proposed technological solutions show that it is possible to involve into quarrying operations additionally 30 millions of iron ore in conditions of the CGOK Company's quarry.

Keywords: open pit, underground cavities, joint development.

Статья поступила в редакцию 27.09.2016

Рекомендовано к публикации д-ром технических наук Четвериком М.С.