

УДК 622.271.012.3

С.А. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф. Криворожский национальный университет,
А.Н. КОСТЯНСКИЙ, канд. техн. наук, В.И. ЧЕПУРНОЙ, Б.Е. ЯЩЕНКО, НИГРИ ГВУЗ «КНУ

УСТАНОВЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ВСКРЫШИ, КАК ПОКАЗАТЕЛЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ СЛЕДУЮЩЕЙ ОЧЕРЕДИ ОТРАБОТКИ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КАРЬЕРА

Следствием расширения железорудных карьеров становится постоянное возрастание глубины открытых горных работ, которое приводит не только к увеличению высоты подъема как вскрышных пород, так и руды, изменению качества добываемой руды, но и соответственно увеличивает себестоимость последней. Увеличение глубины выемки руды и вскрышных пород в конечном итоге удорожает товарную продукцию. Вследствие этого, часто после достижения допустимой себестоимости добычи полезного ископаемого в конкретном карьере рассматривается вопрос о целесообразности его дальнейшей углубки. Однако для обоснования в следующей очереди отработки железорудного карьера его контуров с помощью такого показателя как коэффициент вскрыши, предлагается учитывать удорожание доставки руды при углубке карьера, качество сырой руды, которое прежде всего характеризуется содержанием железа и в значительной мере определяет эффективность технологических процессов добычи, переработки: сортировки, дробления и обогащения руд для получения безубыточной товарной продукции. Предложена зависимость, позволяющая учитывать содержание магнитного железа в руде, а также рост транспортных затрат на ее доставку при углубке карьера, определять максимальный эксплуатационный коэффициент вскрыши. Высота обслуживаемой автотранспортом зоны принимается равной рациональной высоте подъема горной массы при использовании данного типа автотранспорта. Обоснование технического решения с помощью принятого оценочного показателя обеспечит экономичность следующей очереди углубки карьера. Предлагаемый методический подход учитывает минимальное количество необходимых параметров характеризующих разработку месторождения и может использоваться при проектировании горнорудных предприятий осуществляющих разработку железорудных месторождений открытым способом.

Ключевые слова: железорудные карьеры, подъем горной массы, эффективность технологических процессов

Развитие открытого способа разработки полезных ископаемых зависит от эффективности использования минеральных ресурсов. В свою очередь эффективность использования природных ресурсов зависит от правильности и обоснованности проектных решений, что имеет большое значение, поскольку производительность современных железорудных карьеров может превышать 30 млн т/год. Процесс разработки крутопадающих железорудных месторождений закономерно приводит к увеличению глубины карьера и росту объемов вскрышных пород, что неизбежно ухудшает экологическую обстановку и конкурентоспособность товарной продукции.

При этом постоянное возрастание глубины открытых работ в сочетании с другими негативными факторами приводит к неизбежному увеличению себестоимости добываемой руды. Основной объем выемки горной массы на железорудных карьерах в ближайшие десятилетия будет производиться с глубоких горизонтов карьера, что в конечном итоге удорожает товарную продукцию. Например, в одном из последних проектов для обеспечения обогатительных фабрик качественной рудой предусмотрена углубка Глееватского карьера ПАО «ЦГОК» с 350 до 500 м [1]. В «ТЭО определения перспективных границ и производительности карьера ПАО «ИнГОК» рассматриваются перспективные границы расширения карьера в восточном, западном и северном направлении, а также понижение глубины отработки до отметки минус 840 м [2]. Эти примеры свидетельствуют о потребности совершенствования методов обоснования следующих очередей эксплуатации действующих карьеров для безубыточного производства товарной продукции.

Проблема рациональной глубины открытых горных работ имеет большое практическое значение и требует обоснованных проектных решений, особенно для крупных железорудных карьеров, так как допущенные отклонения ухудшают технико-экономические показатели при добыче полезного ископаемого. Как известно, установление конечных контуров карьера определяется величиной граничного коэффициента вскрыши на основе сопоставления удельных стоимостных показателей открытого и подземного способов разработки полезного ископаемого или по допустимой себестоимости сырой руды, которая обеспечивает ее безубыточную добычу и переработку; заключительным затратам на единицу товарной продукции, например концентрата; выходу товарной продукции и себестоимости переработки (обогащения) сырой руды [3].

Как правило, после достижения допустимой себестоимости добычи полезного ископаемого, рассматривается вопрос о целесообразности следующей очереди углубки карьера.

В настоящее время в горной науке существуют различные методы проектирования карьеров [4-11]. В наиболее известном принципе В.В. Ржевского [12-14] учитывается текущий коэффициент вскрыши n_m , м³/т

$$n_m \leq n_3, \quad (1)$$

где n_3 - экономически целесообразный коэффициент вскрыши.

При определении границ открытых работ основное условие экономической целесообразности по А.И. Арсентьеву [12]

$$n_3 \geq n_0 + n, \quad (2)$$

где n_0 - первоначальный коэффициент вскрыши; n - наибольший усредненный по периодам работы карьера эксплуатационный коэффициент вскрыши.

При этом при помощи одного метода может проверяться правильность решения принятого по другому методу [12].

Однако первоначальный коэффициент вскрыши для карьеров, эксплуатируемых длительный срок имеет незначительную величину, имея ввиду, что все карьеры Криворожского железорудного бассейна практически отработали большую часть проектного срока эксплуатации.

Например, карьер ОАО «ЮГОКа» сдан в эксплуатацию в 1954 г., оставшихся запасов руды при проектной производительности карьера по руде хватит на 28-30 лет; Анновский карьер ПАО «СевГОКа» сдан в эксплуатацию в 1963 г., оставшихся запасов руды хватит на 20-25 лет; Первомайский карьер ПАО «СевГОКа» сдан в эксплуатацию в 1964 г., оставшихся запасов руды хватит на 25-30 лет; карьер № 2бис ПАО «АМКР» сдан в эксплуатацию в 1970 г., оставшихся запасов руды хватит на 15-20 лет; карьер №3 ПАО «АМКР» сдан в эксплуатацию в 1977 г., оставшихся запасов руды хватит на 25-30 лет; карьер ПАО «ИнГОКа» сдан в эксплуатацию в 1961 г., оставшихся запасов руды хватит на 15-20 лет [2,15]. При этом часть карьеров вышли на проектный контур на поверхности.

С расширением границ карьера увеличивается коэффициент вскрыши, возрастает коэффициент горной массы, может ухудшиться качество сырой руды, что приведет к снижению качества и соответственно цены концентрата. При определении глубины карьера с помощью аналитических методов в расчете учитывают: стоимость добычи 1 т руды, 1 м³ наносов, 1 т концентрата из руд при открытом способе разработки, себестоимость 1 т руды и концентрата из руды добытой подземным способом разработки, объемный вес руды, коэффициент удорожания руды и пород в зависимости от глубины карьера, горизонтальную мощность пласта, угол погашения бортов карьера, высоту уступа, коэффициент извлечения руды, производительность карьера, минимально возможную ширину дна карьера.

Среди горняков существует мнение, что одинаковых месторождений не бывает, а соответственно существуют специфические особенности сырьевой базы каждой рудной залежи. Поэтому при обосновании глубины открытых работ целесообразно учитывать характеристики руд, которые в значительной мере определяют эффективность технологий процессов добычи, переработки: сортировки, дробления и обогащения на ГОКе с выходом на товарную продукцию.

Для оценки экономической целесообразности следующей очереди углубки карьера установим формулу определяющую оценочный показатель с учетом величин допустимого содержания железа [16,17] в руде, которую можно использовать для производства товарной продукции. Воспользуемся известной зависимостью, определяющей величину предельного коэффициента вскрыши с учетом влияния параметров качества руды [17] для месторождений, разработка которых подземным способом исключается, м³/т

$$K_m = \frac{(\alpha_\phi - \alpha_{np.min}) \cdot C_k \cdot K_u \cdot K_o}{C_6 \cdot 100}, \quad (3)$$

где α_ϕ - фактическое содержание магнитного железа в руде, %; $\alpha_{np.min}$ - минимальное промышленное содержание железа в руде, %; C_k - цена концентрата, грн./т; K_u - коэффициент извлечения железа из руды при обогащении, доли ед; K_o - коэффициент извлечения руды при добыче (с учетом потерь и разубоживание), доли ед.

В работах [18-20], величина максимального эксплуатационного коэффициента вскрыши определяется с помощью аналитической зависимости, м³/т

$$K_3 = \frac{[(C_k - C_c) \cdot \gamma - \Delta Z_{mp.}] \cdot (1 - i)}{C_a} + n_m, \quad (4)$$

где C_k - себестоимость товарной продукции (концентрата) горнодобывающего предприятия грн./т; γ -выход концентрата из руды, доли ед.; n_m - текущий коэффициент вскрыши за последний год работы карьера, м³/т; C_a - себестоимость 1 м³ вскрышных пород, грн./т; $\Delta Z_{mp.}$ - увеличение транспортных затрат при углубке карьера, грн./т; i - налог на прибыль, доли ед.

Из уравнения (3) найдем выражение определяющее C_k и подставим в зависимость (4). После преобразований получим выражение, определяющее величину максимального эксплуатационного коэффициента вскрыши, м³/т

$$K_3 = \frac{(\alpha_\phi - \alpha_{np.min}) \cdot [(C_k \cdot \gamma + \Delta Z_{mp.}) \cdot (1 - i) - n_m \cdot C_a] \cdot K_u \cdot K_o}{C_a \cdot [100 \cdot (1 - i) \cdot \gamma - (\alpha_\phi - \alpha_{np.min}) \cdot K_u \cdot K_o]} \quad (5)$$

Отметим, что в полученной зависимости при определении оценочного показателя (K_3) для обоснования экономичности следующей очереди углубки карьера учитывается содержание железа в руде (α_ϕ и $\alpha_{np.min}$). Большинство железорудных карьеров для доставки горной массы с нижних горизонтов обычно используют комбинированный транспорт, где в качестве магистрального применяют конвейерные подъемники. При этом на карьерах Кривбасса, кроме карьеров №3 и №4 ЦГОКа, для транспортировки руды применяют автомобильно-конвейерный транспорт.

Рассмотрим условный карьер, где нижний перегрузочный пункт (ПП) ЦПТ отстоит от дна карьера на высоту зоны обслуживаемой сборочным транспортом, как правило автомобильным (рис. 1). Здесь в исходном положении карьера размещен ПП- №1 конвейерного подъемника.

При дальнейшем расширении и углубке карьера до проектного контура, конвейерный подъемник удлиняется и устраивается второй ПП- №2. Выбор места размещения каждого ПП конвейерного подъемника должен производиться из условия соблюдения оптимальной высоты подъема горной массы сборочным транспортом.

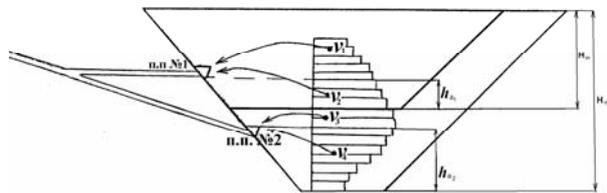


Рис. 1. Схема изменения высоты подъема горной массы при удлинении конвейерного подъемника вследствие очередной углубки карьера

Рациональная высота зоны обслуживаемой автотранспортом равна такой высоте подъема горной массы, при которой прибыль от использования данного типа автотранспорта достигает максимума. Так например, рациональная высота подъема горной массы автосамосвалами БелАЗ-7549 составляет 60 м [21]. Однако на практике эти рекомендации не всегда соблюдаются. Как показано на рис. 1 в исходном положении карьера объемы горной массы V_1 и V_2 доставляют на ПП №1 с высотой подъема h_{a1} , а после расширения границ карьера до проектного контура объемы V_3 и V_4 доставляют на ПП №2 с высотой подъема h_{a2} . С учетом необходимости сохранения рациональной высоты подъема горной массы автотранспортом, как более дорогим видом транспорта, удорожание транспортирования горной массы произойдет за счет удлинения конвейерного подъемника пропорционально увеличению его длины и определится по формуле (расчет на примере карьера ИнГОКа), грн./т

$$z_{mp.} = \frac{(H_{np.} - H_m - h_{a2} + h_{a1}) \cdot c_{к.п.}}{1000 \cdot \sin \phi} = \frac{(600 - 450 - 90 + 110) \cdot 2,0}{1000 \cdot 0,2419} = 1,52 \text{ грн./т} \quad (6)$$

где $H_{np.}$ - проектная глубина карьера, м; H_m - текущая глубина карьера, м; h_{a1} - высота рабочей зоны обслуживаемой автотранспортом в настоящее время, м; h_{a2} - то же при удлинении конвейерного подъемника после следующей очереди углубки карьера до проектной глубины, м; ϕ - максимальный угол наклона конвейерного подъемника, м; $c_{к.п.}$ - себестоимость перевозки 1 т·км горной массы конвейерным подъемником, грн./т.

При отсутствии данных по себестоимости вскрышных пород C_a может использоваться следующая эмпирическая зависимость [18] грн./м³

$$C_a = \frac{C_k \cdot \rho_a^2 \cdot \gamma \cdot \alpha_\phi}{\beta \cdot (\rho + K_m \cdot \rho_a^2)} \quad (7)$$

где $\rho_в$ - объемный вес вскрышных пород, т/м³; ρ - объемный вес руды, т/м³; β - содержание железа в концентрате, %.

Определим показатель K_3 в условиях приближенных к карьере ИнГОК. Согласно формуле (5) оценочный показатель для принятых условий по данным за 2009 г. [22] равен, м³/т

$$K_3 = \frac{(23,6 - 14) \cdot [(210 \cdot 0,4 + 1,4) \cdot (1 - 0,18) - 0,4 \cdot 35] \cdot 0,9 \cdot 0,985}{[100 \cdot (1 - 0,18) \cdot 0,4 - (23,6 - 14) \cdot 0,9 \cdot 0,985] \cdot 35} = 0,57.$$

Как видно из приведенного выражения (5) на величину K_3 кроме прочих параметров оказывает влияние $\alpha_{ф.}$ и $\alpha_{нр.мин.}$. Анализ графиков функции $K_3 = f(\alpha_{ф.}; \alpha_{нр.мин.})$ (рис. 2) показывает, что она характеризуется линейной зависимостью, которая позволит при необходимости прогнозировать данный показатель на будущие периоды.

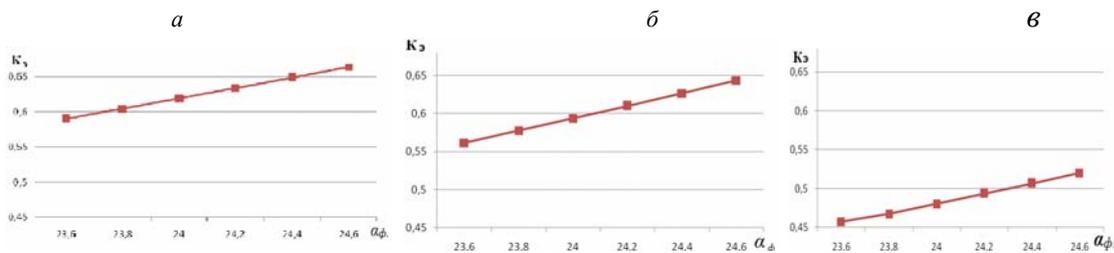


Рис. 2. Зависимость величины K_3 (м³/т) от содержания магнитного железа $\alpha_{ф.}$ в руде:

a - при $\alpha_{нр.мин.} = 13\%$; б - при $\alpha_{нр.мин.} = 14\%$; в - при $\alpha_{нр.мин.} = 15\%$.

Ингулецкий ГОК - самый последний из построенных в Кривбассе ГОКов, имеет самые сложные по сравнению с остальными комбинатами геологические условия.

Несмотря на это, карьер ИнГОКа намерен расширить территорию разработки месторождения, что позволит поддерживать производительность ГОКа еще 50-60 лет [23], но при этом растет коэффициент вскрыши.

В дальнейшем, начиная с 2017 г. планируется выходить северным бортом за проектные границы существующего карьера. Перспективные параметры карьера могут составлять - протяженность более 6 км, ширина - порядка 3,5 км, глубина - до 910 м [23].

В 2015 г. карьер ИнГОКа выдержал плановый коэффициент вскрыши 0,401 м³/т, но в 2016г. планируется увеличить коэффициент вскрыши, который составит $n_m = 0,56$ м³/т [24].

Это даст возможность равномерно развивать вскрытие рудной залежи и поддерживать производственную мощность карьера. Кроме того, на ГОКе в процессе получения концентрата должна обеспечиваться безубыточность производства товарной продукции.

Первоначальный коэффициент вскрыши для карьеров разрабатываемых длительный срок, таких как ИнГОК, имеет незначительное значение, т. е. $n_0 \rightarrow 0$. Тогда может быть использован принцип (1), согласно которого при дальнейшей отработке карьера ИнГОКа величина текущего коэффициента вскрыши не должна превышать величину ограничивающего показателя, в качестве которого принимается максимальный эксплуатационный коэффициент вскрыши K_3 . В рассмотренном случае для карьера ИнГОКа условие безубыточности соблюдается, т.е. $n_m = 0,56 \leq K_3 = 0,57$ м³/т.

Таким образом, рассчитанный с помощью установленных зависимостей показатель в которых комплексно учитывается качество руды и удорожание ее транспортирования при углубке карьера доказывает экономичность эксплуатации карьера ИнГОК.

Предлагаемый методический подход учитывает минимальное количество необходимых параметров характеризующих разработку месторождения и может использоваться при проектировании горнорудных предприятий осуществляющих разработку железорудных месторождений открытым способом.

Список литературы

1. Несмашный Е.А., Романенко А.А., Болотников А.Б. Устойчивость борта Глеватского карьера, подработанного подземными горными работами, при расширении его границ / Е.А. Несмашный, А.А. Романенко, А.Б. Болотников // Металлургическая и горнорудная промышленность, 2012, №3. С.76-78.
2. Терещенко В.В., Швец Д.В. (ГП «ГПИ «Кривбасспроект») Перспективное развитие сырьевой базы открытым способом карьера публичного акционерного общества «ИнГОК». Геотехническая механика № 110, 2013 г., изд. ИГТМ НАН Украины.
3. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Міністерство промислової політики України.- К.: 2007. – 279 с.

4. **Близиюков В.Г.** Определение главных параметров карьера с учетом качества руды.-М.:Недра, 1978.-151 с.
5. Отчет о НИР «Определение перспективных границ и производительности карьера Ингулецкого горно-обогатительного комбината» (промежут.). Часть 1, ГП «НИГРИ», Рук. **В.Г. Близиюков.**-№ ГР 0107U005663.- 65 ст.
6. **Близиюков В.Г., Баранов И.В.** Наука в решении проблем горнорудной отрасли/ **В.Г. Близиюков., И.В. Баранов** Геотехнические проблемы комплексного освоения недр. Сб. науч. трудов. Выпуск 4 (94). Екатеринбург, 2008 г. Российская академия наук. Уральское отделение. Институт горного дела. (ИГД). - С. 75-81.
7. **Шешко Е.Ф.** Открытая разработка месторождений полезных ископаемых.-М.: Углетехиздат. 1951.-562 с.
8. Теория и практика открытых разработок / **Н.В.Мельников, А.И.Арсентьев** и др.-М.: Недра, 1979.- 630 с.
9. Горное дело /**Ю.П. Астафьев, В.Г. Близиюков** и др.//-М.: «Недра»,1980.-367 с.
10. **Близиюков В.Г., Вилкул Ю.Г., Ковальчук В.А.** Критерий эколого-экономической оценки деятельности горных предприятий / **В.Г. Близиюков, Ю.Г. Вилкул, В.А. Ковальчук**// Разработка рудных месторождений. Республиканский межведомственный научно-технический сборник. Выпуск 54. Кривой Рог. 1993 г.- С.3- 8.
11. **Берлович Е.В., Холодников Г.А.** О новых подходах к проектированию открытых горных работ/ **Е.В. Берлович, Г.А. Холодников**// Горный журнал, 2006, №4.- С. 10-12.
12. **Арсентьев А.И.** Определение производительности и границ карьера. Государственное научно-техническое издательство по черной и цветной металлургии. 1956. - 229 с.
13. **Ржевский В.В.** Исследование режима горных работ карьера. Автореф. ... М., 1955.
14. **Ржевский В.В.** Проектирование контуров карьеров. М. Государственное научно-техническое издательство литературы
15. **Близиюков, В.Г.** О необходимости реконструкции железорудных карьеров Кривбасса / **В.Г.Близиюков, С.А. Луценко, А.В. Савицкий** // Комбинированные технологии разработки месторождений глубокими карьерами и шахтами / Сб. науч. трудов КНУ.-Кривой Рог: Дионис, 2012. -С. 17-19.
16. Горная энциклопедия. В пяти томах. Москва. Издательство: Советская энциклопедия.- 1984 - 1991г. , 2900 с.
17. **Погребницкий Е.О., Терновой В.И.** / Геолого- экономическая оценка месторождений полезных ископаемых. Ленинград. «Недра». Ленинградское отделение.- 1974 г., 302 с.
18. **Костянский А.Н., Мельникова И.Е.** Влияние качества руды на величину экономически целесообразного коэффициента вскрыши / **А.Н. Костянский, И.Е. Мельникова**// Качество минерального сырья. Сб. научн. трудов, АГНУ КТУ.- Кривой Рог.КТУ. – 2011.- С. 342-346.
19. **Костянский А.Н.** Прогнозирование эксплуатационного коэффициента вскрыши в условиях работы глубоких железорудных карьеров. / **А.Н. Костянский** // Форум гірників. Матеріали міжнародної конференції 13-15 жовтня 2008 р. Національний гірничий університет. Дніпропетровск. 2008, С.173-177.
20. **Романенко А.В., Костянский А.Н.** Максимальный текущий коэффициент вскрыши как показатель для оценки периодов отработки глубоких карьеров./ **А.В. Романенко, А.Н. Костянский** //Збірник наукових праць за результатами роботи Міжнародної науково-технічної конференції (Кривий Ріг, 22-23 квітня 2011 р.). ДП «НДГРІ». С. 41-42.
21. **Семенов Г. К.** Использование комбинированных вариантов автотранспорта на открытых горных работах / **Г. К. Семенов**// Вестник Каз НТУ им. К. И. Сатпаева.- 2007. - № 5.
22. Технико-экономические показатели горнодобывающих предприятий Украины в 2008-2009 г., ГП «НИГРИ», Кривой Рог,154 с.
23. ИнГОК намерен расширять границы карьера и увеличивать производство. / Ассоциация недропользователей Украины. 02 декабря 2014. Geonews.com.ua.
24. Амбициозный планы./ Газета «Ингулецкий вісник», № 48 (2512),четвер. 3 грудня 2015 року. Газета ПАТ «ІнГЗК», м. Кривий Ріг. - 1с.литературы по горному делу. М. 1961, 242 с.

Рукопись поступила в редакцию 04.04.16

УДК 622.775

Т.А. ОЛЕЙНИК, Н.Н. БЕРЕЖНОЙ, доктора техн. наук, проф.
Л.В. СКЛЯР, Н.В. КУШНИРУК, кандидаты техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗОЛОТОНОСНОГО КОНЦЕНТРАТА ПРИ ОБОГАЩЕНИИ МАГНЕТИТОВЫХ РУД

Статью посвящено проблеме получения золота из магнетитовых кварцитов. Показано, что золото находится в тонкодисперсном состоянии в виде зерен размером $(3-15) \times 10^3$ нм удлиненной формы и пластинчатых агрегатов с округлыми краями в магнетите и кварце. Установлено, что текстурно-структурные особенности магнетитовых кварцитов, силикатно-кварцевый состав нерудной фазы, тонкая вкрапленность магнетита в нерудных минералах, наличие ситовых структур, большая работа разрушения и прочность обуславливают низкие показатели измельчаемости руд. Преимущество в силикатах куммингтонита обосновывает увеличение вязкости руд при тонком измельчении. Приведено, что в исходной руде Ново-Криворожского и Ингулецкого ГОКов содержание золота в среднем несколько больше, и составляет 0,034-0,067 г/т, а в отдельных районах карьеров достигает 0,11-0,347 г/т. Показано, что золото, как один из самых пластичных минералов, способно образовывать фольгу втрое тоньше, чем серебро, алюминий