



О проблеме отставания вскрышных работ в железорудных карьерах

Установлены технологические взаимосвязи вскрышных и добычных работ, и на их основе предложен метод определения объемов вскрышных работ, необходимых для стабильной и экономичной работы карьера. Метод может быть использован для ежегодной проверки годовых программ горных работ с целью недопущения отставания вскрышных работ. Ил. 2. Табл. 1. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: железорудные карьеры, режим горных работ, активный фронт горных работ, вскрышные работы, коэффициент вскрыши, рабочая площадка уступа, отставание вскрышных работ

The technological interrelations between stripping and mining operation are found. Based on them the method of determination of necessary stripping operations volumes for stable and efficient open pit performance is proposed. The method can be used for mining programs annual verification to prevent stripping operations lag.

Keywords: iron ore open pits, mining operation mode, mining active front, stripping operations, stripping ratio, working platform of bench, stripping operations lag

Проблема отставания вскрышных работ от необходимых для стабильной и безопасной работы карьеров сопровождается горно-обогажительными комбинатами практически с начала ввода их в эксплуатацию. Стремление добыть руду с меньшими затратами за счет сокращения объемов вскрышных работ привело к уменьшению ширины рабочих площадок, сокращению активного фронта горных работ, созданию стесненных, а иногда и опасных условий для работы горнотранспортного оборудования.

Решением этой проблемы занимались известные всему миру ученые: доктора наук А.И. Арсентьев [1], М.Г. Новожилов [2], В.В. Ржевский [3] и в настоящее время в Украине занимаются их ученики и последователи доктора наук В.Г. Близнюков, И.Л. Гуменик, А.Ю. Дрищенко, М.С. Четверик и др. Они создали методы управления режимом горных работ, позволяющие снижать объемы вскрышных работ при нормальной работе карьеров.

Стремление уменьшать объемы вскрышных работ институт «ЛенГИПРОРУДА» ограничил, предусмотрев норму по обеспеченности карьера запасами руды и объемами вскрышных пород, готовыми к выемке, на 2,5 месяца [4]. К этим запасам относят объемы горной массы, которые можно извлечь с каждого рабочего горизонта при остановке уступа на вышележащем смежном горизонте и сокращении площадки на последнем до ширины временно нерабочей площадки, но на скальных уступах не менее двоякной высоты уступа.

В последние 6-8 лет о проблеме вскрышных работ, как основной причине неудовлетворительной работы карьеров, специалисты стали говорить меньше.

Действительно, в эти годы были вложены крупные инвестиции в развитие карьеров, во многом направленные на ликвидацию отставания вскрышных работ. Частично проблема была снята и за счет снижения нормы готовых к выемке запасов руды и объемов пустых пород с 2,5 до 1,5 месяца [5].

Однако, практика работы железорудных карьеров Украины показывает, что проблема отставания вскрышных работ полностью не решена и может обостряться, особенно в периоды увеличения производительности карьеров по руде.

Цель настоящей работы: выявить технологические взаимосвязи вскрышных и добычных работ, и на их основе предложить метод определения объемов вскрышных работ, необходимых для стабильной работы карьера или проверки годовых программ горных работ горно-обогажительных комбинатов.

На примере условного карьера, представленного разрезом на рис. 1, (исходные данные приведены в таблице) рассмотрим наличие указанных взаимосвязей и их характер.

Ширина рабочей площадки в карьере на рудных уступах определяется по нормативам

$$B_H = B_{\min} + \frac{A_p \cdot \psi}{L_p \cdot h_y}, \text{ м}, \quad (1)$$

где B_H - средняя ширина рабочей площадки в карьере, обеспечивающая наличие в нем нормативного запаса руды и объема пустых, готовых к выемке, м; B_{\min} - минимальная ширина рабочей площадки в карьере, м; A_p - производительность карьера по руде, м³/год; ψ - нормативный коэффициент готовых к выемке запасов руды (при полуторамесячном запа-

се руды этот коэффициент равен 0,125; L_p - длина активного рудного фронта в карьере, м; h_y - высота рудного уступа, м.

Если техника и технология добычи руды и выемки пустых пород одинаковы, то нормальная ширина рабочей площадки на вскрышных уступах определится аналогично

$$B_H = B_{\min} + \frac{A_v \cdot \psi}{L_v \cdot h_y}, \text{ м}, \quad (2)$$

где A_v - объем вскрышных работ, $\text{м}^3/\text{год}$; L_v - длина активного вскрышного фронта, м.

В этих формулах запас руды и объемы пустых пород, готовые к выемке, представлены вторыми слагаемыми.

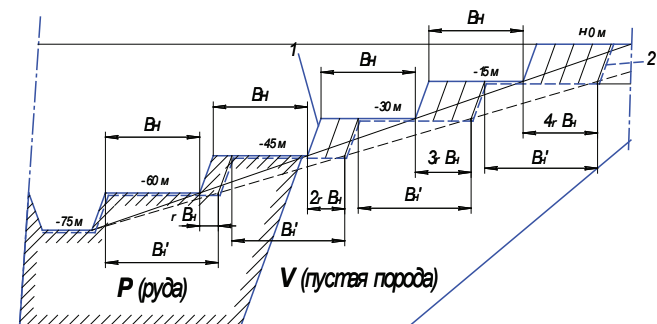


Рис.1. Схема для определения взаимосвязи режима вскрышных работ и производительности карьера по руде: 1 (-) и 2 (-) - положение рабочего борта карьера при работе с производительностью по руде Ар и Ар+Ар; B_H - увеличение нормативной ширины рабочей площадки (B_H) при увеличении производительности карьера по руде на Ар; B_H' - нормальная ширина рабочей площадки при работе карьера с производительностью по руде Ар+Ар

Текущий коэффициент вскрыши в представленном карьере определен по формуле

$$n_t = \frac{A_v}{A_p} = \frac{L_v \cdot h_y \cdot l_v}{L_p \cdot h_y \cdot l_p}, \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (3)$$

где - l_v и l_p - скорость горизонтального подвигания вскрышных и рудных уступов, м/год.

При принятых ширине рабочей площадки, высоте уступов, производительности по руде и пустым породам, угол откоса рабочего борта карьера будет постоянным, а текущий коэффициент вскрыши определится соотношением активных фронтов работ по пустым породам (L_v) и руде (L_p)

$$n_t = \frac{L_v}{L_p}, \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (4)$$

При увеличении годовой производительности карьера по руде на ΔA_p нормальная ширина рабочей площадки на каждом горизонте увеличится до

$$B'_H = B_{\min} + \frac{(A_p + \Delta A_p)\psi}{L_p \cdot h_y}, \text{ м} \quad (5)$$

или на ΔB_H метров от ранее определенной по выражению (2)

$$\Delta B_H = \frac{\Delta A_p \cdot \psi}{L_p \cdot h_y}, \text{ м}. \quad (6)$$

Только в этом случае в карьере будут обеспечены нормативные запасы руды и объем пустых пород, готовые к выемке.

Как видно на рис. 1, при увеличении производительности карьера по руде на ΔA_p необходимо увеличить ширину рабочей площадки на горизонте -60 м на величину ΔB_H ; на вышележащем горизонте (-45 м) - на величину $2 \Delta B_H$ и так далее до самого верхнего рабочего уступа. В этом случае все рабочие площадки в карьере увеличатся до нормативных размеров.

Дополнительный объем добычи от расширения рабочих площадок на всех уступах составит ΔA_{pB}

$$\Delta A_{pB} = \Delta B_H \cdot L_{p2} \cdot h_y + 2\Delta B_H \cdot L_{p3} + \dots + i\Delta B_H \cdot L_{p(i+1)} \cdot h_y = \Delta B_H \cdot h_y \sum_{i=2}^k (i-1)L_{pi}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (7)$$

где L_{p2} , L_{p3} , L_{pi} - длина активного рудного фронта 2-го, 3-го, ..., i -го рабочих уступов в карьере; k - количество рабочих уступов в карьере.

Одновременно с расширением рабочих площадок до нормативных значений необходимо параллельно подвигать весь рабочий борт карьера для достижения заданного увеличения производительности карьера. Параллельное подвигание рабочего борта карьера обеспечит увеличение производительности карьера по руде на величину ΔA_{pl}

$$\Delta A_{pl} = L_p \cdot h_y \cdot \Delta l_p, \quad (8)$$

где Δl_p - необходимое увеличение скорости подвигания уступов в горизонтальном направлении при увеличении производительности карьера по руде на величину ΔA_p , м/год.

Таким образом, заданное увеличение производительности карьера по руде в зависимости от сложившегося состояния горных работ в карьере, принятой технологии разработки и природных условий месторождения определяется по формуле

$$\Delta A_p = \Delta A_{pB} + \Delta A_{pl} = \Delta B_H \cdot h_y \sum_{i=2}^k (i-1) \times L_{pi} + L_p \cdot h_y \cdot \Delta l_p, \quad \text{м}^3/\text{год}, \quad (9)$$

а скорость перемещения рабочего борта карьера в горизонтальном направлении, обеспечивающая заданное увеличение производительности будет равна

$$\Delta l_p = \frac{\Delta A_p - \Delta B_H \cdot h_y \sum_{i=2}^k (i-1)L_{pi}}{L_p \cdot h_y}, \text{ м/год}. \quad (10)$$

Дополнительный объем вскрышных работ (ΔA_v) при увеличении производительности карьера по руде

Таблица. Исходные показатели и результаты расчетов для условного примера

Показатели	Варианты					
	Базовый	1	2	3	4	5
Производительность карьера по руде A_p , м ³ /год	3 500 000	3 850 000	4 200 000	4 550 000	4 900 000	5 250 000
Прирост производительности по руде ΔA_p , м ³ /год	0	350 000	700 000	1 050 000	1 400 000	1 750 000
Производительность карьера по вскрыше A_v , м ³ /год	9000000	10395000	11802000	$\frac{13195000}{14059500}$	$\frac{14602000}{15729000}$	$\frac{16012500}{17430000}$
Длина рудного фронта L_p , м:	3 500	3 500	3 500	$\frac{3500}{5500}$	$\frac{3500}{5500}$	$\frac{3500}{5500}$
1-го уступа (гор. -75 м)	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500
2-го уступа (гор. -60 м)	2 000	2 000	2 000	$\frac{2000}{4000}$	$\frac{2000}{4000}$	$\frac{2000}{4000}$
Длина вскрышного фронта L_v , м:	9 000	9 000	9 000	$\frac{9000}{18000}$	$\frac{9000}{18000}$	$\frac{9000}{18000}$
1-го уступа (гор. -75 м)	-	-	-	-	-	-
2-го уступа (гор. -60 м)	-	-	-	-	-	-
3-го уступа (гор. -45 м)	2 500	2 500	2 500	$\frac{2500}{5000}$	$\frac{2500}{5000}$	$\frac{2500}{5000}$
4-го уступа (гор. -30 м)	3 000	3 000	3 000	$\frac{3000}{6000}$	$\frac{3000}{6000}$	$\frac{3000}{6000}$
5-го уступа (гор. -15 м)	3 500	3 500	3 500	$\frac{3500}{7000}$	$\frac{3500}{7000}$	$\frac{3500}{7000}$
Минимальная ширина рабочей площадки B_H , м	30	30	30	30	30	30
Нормативная ширина рабочей площадки, м	38	39,46	40,92	$\frac{42,38}{40,2}$	$\frac{43,84}{40,92}$	$\frac{45,3}{41,65}$
Текущий коэффициент вскрыши, м ³ /м ³	2,57	2,70	2,81	$\frac{2,9}{3,09}$	$\frac{2,98}{3,21}$	$\frac{3,05}{3,32}$

Примечание: в числителе приведен вариант, при котором работы связаны только с реконструкцией рабочего борта карьера; в знаменателе – вариант с вовлечением в разработку участка месторождения с большими объемами пустых пород

по аналогии выводами формул (7)–(9) определяется по выражениям

$$\Delta A_{vB} = \Delta B_H \cdot L_{v2} h_y + 2\Delta B_H L_{v3} \cdot h_y + \dots + i\Delta B_H L_{v(i+1)} \cdot h_y = \Delta B_H \cdot h_y \sum_{i=2}^k (i-1)L_{vi}, \text{ м}^3/\text{год}; \quad (11)$$

$$\Delta A_{vl} = L_v \cdot h_y \cdot \Delta l_v, \text{ м}^3/\text{год}; \quad (12)$$

$$\Delta A_v = \Delta A_{vB} + \Delta A_{vl} = \Delta B_H \cdot h_y \sum_{i=2}^k (i-1) \cdot L_{vi} + L_v \cdot h_y \cdot \Delta l_v, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (13)$$

где ΔA_{vB} - дополнительный объем вскрышных работ от расширения рабочих площадок уступов до нормативной величины, м; ΔA_{vl} - необходим объем вскрышных работ при подвигании рабочего борта карьера с постоянным углом откоса, м³/год; L_{v2} , L_{v3} , L_{vi} - протяженность фронта вскрышных работ на 2-ом, 3-ем, i -ом рабочих уступах карьера, м; Δl_v - скорость перемещения рабочего борта карьера на вскрышных уступах в го-

ризонтальном направлении.

Для достижения заданной производительности по руде, с учетом ее увеличения, необходимо чтобы на рабочих горизонтах сохранялись рабочие площадки нормальной ширины. Поэтому скорость горизонтального подвигания добычных уступов (Δl_p) должна быть равна скорости горизонтального подвигания вскрышных уступов (Δl_v).

Прирост объемов добычи произойдет с коэффициентом вскрыши

$$\Delta n = \frac{\Delta B_H \cdot \sum_{i=2}^k (i-1)L_{vi} + L_v \cdot \Delta l_v}{\Delta B_H \cdot \sum_{i=2}^k (i-1)L_{pi} + L_p \cdot \Delta l_p}, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (14)$$

а текущий коэффициент вскрыши станет равным

$$n_t = \frac{L_v \cdot l_v + \Delta B_H \sum_{i=2}^k (i-1)L_{vi} + L_v \Delta l_v}{L_p \cdot l_p + \Delta B_H \sum_{i=2}^k (i-1)L_{pi} + L_p \Delta l_p}, \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (15)$$

Для случая, представленного на рис. 1, исходные

данные и результаты расчета изменений текущего коэффициента вскрыши, как основного показателя режима горных работ, и других параметров системы разработки в зависимости от изменения производительности карьера по руде представлены в таблице и графиками на рис. 2.

Расчеты показали, что при увеличении производительности карьера по руде объем вскрышных работ увеличивается не пропорционально росту производительности, т.е. растет коэффициент вскрыши. Последнее объясняется необходимостью увеличения ширины рабочей площадки для обеспечения в карьере нормативного запаса руды и объемов пустых пород, готовых к выемке.

При увеличении производительности карьера по руде не всегда удастся работать с минимальными текущими коэффициентами вскрыши. Иногда для этого необходимо дополнительно вовлекать в разработку участки месторождения с большими объемами пустых пород. В нашем примере (рис. 1) эти условия можно имитировать вовлечением в разработку дополнительного участка с фронтом работ по руде L_p равном 2000 м, по пустым породам L_v равном 9000 м. Тогда зависимость текущего коэффициента вскрыши от увеличения производительности карьера по руде примет вид кривой 1 на рис. 2. Во втором случае, когда увеличение коэффициента вскрыши связано только с реконструкцией рабочего борта карьера зависимость текущего коэффициента вскрыши от увеличения производительности карьера по руде примет вид кривой 2 на рис. 2. Зависимость увеличения производительности по вскрыше от увеличения производительности карьера по руде показано кривыми 3, 4 на рис. 2. Здесь причиной непропорциональности роста текущего коэффициента вскрыши является необходимость изменения режима горных работ: вовлечение в разработку дополнительных объемов руды с худшими показателями по вскрыше.

Не соблюдение выявленных закономерностей при планировании горных работ часто приводило и может привести в дальнейшем к отставанию вскрышных работ, выбытию производственной мощности по руде, появлению стесненных, а иногда и опасных условий работы горнотранспортного оборудования.

Для примера на Анновском карьере ПАО «СевГОК» и карьере «ИнГОК» по предложенной методике определены необходимый объем вскрышных работ при заданной производительности по руде на 2013 г.

Пример № 1. Анновский карьер ПАО «СевГОК»

Состояние горных работ в 2010 г. характеризовалось следующими показателями: производительность карьера по руде 8,6 млн. т/год; объем вскрышных работ 14,44 млн. м³/год; коэффициент вскрыши 1,68 м³/т.

Программа горных работ и ее показатели в 2011 г.: производительность карьера по руде 9,4 млн. т/год; объем вскрышных работ 14,1 млн. м³/год; коэффициент вскрыши 1,5 м³/т.

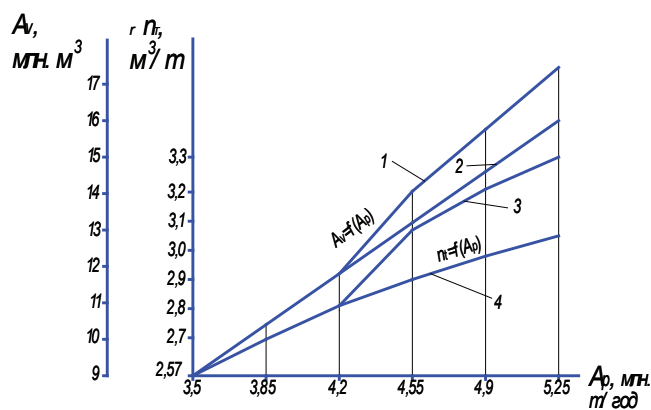


Рис. 2. Зависимость объемов вскрышных работ и текущего коэффициента вскрыши от производительности карьера по руде: 1, 3 - для случая вовлечения в разработку участка месторождения с большими объемами пустых пород; 2, 4 - для случая, обусловленного только реконструкцией рабочего борта карьера

Рост объемов добычи руды в 2011 г. по сравнению с 2010 г. составил 9,3 %, а объемов вскрышных работ 2,5 %. Это говорит о том, что даже при сохранившемся соотношении протяженности вскрышного и добычного фронтов вскрышные работы будут отставать от необходимых. Кроме этого, рост объемов производства потребует расширения ширины рабочей площадки на всех уступах, что также должно привести к увеличению объемов вскрышных работ, особенно на верхних уступах. Поэтому планирование коэффициента вскрыши на уровне прошлого года явно приведет к отставанию вскрышных работ.

В 2012 г. по сравнению с 2010 производительность карьера по руде возросла до 9,8 млн. т/год, т.е. на 14 %, а объемы вскрышных работ на 6,7 %. Все это свидетельствует о постоянном отставании вскрышных работ и отсутствию нормативного запаса горной массы готовой к выемке.

Программа 2013 г. не ликвидирует отставания вскрышных работ, так как запланированный коэффициент вскрыши, не увеличился, а наоборот снизился. Исследования показали, что для нормализации работы карьера при годовой программе по руде 9,75 млн. т/год в 2013 г. коэффициент вскрыши должен быть равен 1,8-1,85 м³/т.

Пример № 2. Карьер ПАО «ИнГОК»

Состояние горных работ в 2009 г. характеризовалось следующими показателями: производительность карьера по руде 29,35 млн. т/год; объем вскрышных работ 11,75 млн. м³/год; коэффициент вскрыши 0,4 м³/т.

В 2010 г. производительность карьера по руде 36,9 млн. т/год; объем вскрышных работ 14,76 млн. м³/год; коэффициент вскрыши 0,4 м³/т.

Это свидетельствует о сохранении величины ширины рабочей площадки на уровне характерном для производительности карьера по руде 29,35 млн. т/год, что приводит к сокращению величины нормативных запасов готовых к выемке меньше допустимых.

В 2011 г. производительность карьера по руде и вскрыше оставалась без особых изменений.

В 2012 г. производительность карьера по руде 35,67 млн. т/год; объем вскрышных работ 16,09 млн. м³/год; коэффициент вскрыши 0,45 м³/т. Несмотря на то, что был увеличен коэффициент вскрыши отставание вскрышных работ за предыдущие годы не было ликвидировано. Поэтому для нормализации работы карьера в 2013 г. при годовой программе по руде 36,89 млн. т/год коэффициент вскрыши должен быть составлять 0,55–0,6 м³/т, что и было сделано (в годовой программе на 2013 г. заложен коэффициент вскрыши 0,56 м³/т).

Выводы

1. Планирование горных работ в карьерах необходимо производить с учетом их современного состояния, выявленных взаимосвязей добычных и вскрышных работ и с постоянным соблюдением норм технологического проектирования по наличию в карьерах готовых к выемке запасов горной массы.

2. Во избежание отставания вскрышных работ увеличение производительности карьера по руде должно сопровождаться увеличением коэффициента вскрыши.

3. Предложен метод определения объема вскрыш-

ных работ для составления или проверки годовых программ горных работ, обеспечивающих работу карьера без отставания вскрышных работ.

Библиографический список

1. Арсентьев А.И. Определение производительности и границ карьеров. - М.: Госгортехиздат, 1961. – 120 с.
2. Новожилов М.Г. Открытые горные работы. - М.: Госгортехиздат, 1961. – 132 с.
3. Ржевский В.В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. - М.: Недра, 1968. – 140 с.
4. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий черной металлургии с открытым способом разработки. – Л.: Гипроруда, 1963. – 273 с.
5. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. – Міністерство промислової політики України, Київ, 2007. - 279 с.

Поступила 08.02.2013

УДК 622.271.012.3:622.741.3-144

Четверик М.С. /д.т.н./, Бабий Е.В. /к.т.н./
ИГТМ НАН Украины

Терещенко В.В.

ГП «ГПИ «Кривбасспроект»

Левченко К.А. /к.т.н./
ГВУЗ «НГУ»

Производство

Повышение производственной мощности карьера с применением комплекса предобогащения

Целью исследований является обоснование повышения производственной мощности карьера по руде за счет извлечения магнитного продукта из вскрышных пород и разубоженных руд путем применения комплекса предобогащения. На примере Петровского карьера установлены типы контактных зон, рассчитаны потери железистых кварцитов согласно запроектированному режиму горных работ, определен объем горных пород подлежащий предобогащению. Предложена технология предобогащения руды в карьере как направление повышения качества рудной массы. Выполнены расчеты выхода магнитного продукта и извлечения полезного компонента. Установлено, что применение предобогащения позволяет снизить потери в 5,3 раза. Ил. 4. Табл. 4. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: производственная мощность карьера, контактные зоны, потери полезного ископаемого, дробильно-обоганительный комплекс, извлечение полезного компонента, технология предобогащения руды в карьере

The purpose of research is substantiation of the increasing ore quarry production capacity by extracting magnetic product of overburden and ore diluted by applying complex of preliminary ore concentration. On the example of Petrovsky quarry the types of contact zones were defined, the losses of ferruginous quartzite according to the configured mode of mining were calculated, amount of rock that needs to be preliminary concentrate was defined. The ore preliminary concentration technology in quarry is shown as a direction of increase the ore mass quality. Calculations of the output magnetic product and valuable component extraction were done. It was found that the use of preliminary concentration make it possible to reduce the losses in 5.3 times.

Keywords: quarry production capacity, contact zones, mineral losses, crushing and concentration complex, valuable component extraction, technology of preliminary ore concentration in quarry

Постановка проблемы

Экономический потенциал Украины во многом зависит от железорудной промышленности, которая

должна обеспечивать конкурентоспособность металлургического сырья как на внешнем, так и на внутреннем рынках. Однако из-за природных особенностей