

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМОВ ВСКРЫШНЫХ РАБОТ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КАРЬЕРА ПО РУДЕ

Нормальные условия для добычи полезного ископаемого требуют формирования рабочей зоны карьера рабочими площадками, включающими нормативные запасы скальной горной массы, готовые к выемке. Увеличение производительности карьера по руде приводит к увеличению ширины рабочих площадок. При этом объемы вскрыши возрастают, как за счет краткосрочного увеличения скорости горизонтального подвигания каждого вышележащего горизонта, так и за счет изменения режима горных работ.

Целью работы является усовершенствование методики определения объемов вскрышных работ, обеспечивающих в карьере нормальные условия добычи полезного ископаемого при изменении его производительности.

Выведены формулы для определения текущих коэффициентов вскрыши при расширении рабочих площадок, а также объемов задолженности по вскрыше. Расчеты показали, что при увеличении производительности карьера по руде коэффициент вскрыши увеличивается, как за счет уменьшения угла откоса рабочего борта карьера, так и за счет краткосрочного увеличения скорости горизонтального подвигания каждого вышележащего горизонта по отношению к нижележащему, вследствие расширения рабочих площадок.

Применение методики возможно как в случае, когда горные работы не достигли проектных контуров карьера по уровню дневной поверхности, так и в случае погашения горных работ при выходе рабочих бортов на проектные контуры.

Ключевые слова: железорудные карьеры; вскрышные работы; коэффициент вскрыши; рабочая площадка уступа; отставание вскрышных работ.

Введение. В процессе эксплуатации железорудных месторождений карьерами, соотношение объемов добычи руды и выемки вскрышных пород определяется проектами их разработки, которые составляются согласно норм технологического проектирования. Установленное соотношение определяет необходимые параметры системы разработки для эффективной и безопасной добычи полезного ископаемого [1]. Такая работа считается нормальной и определена требованием формировать рабочую зону карьера с рабочей площадкой включающей нормативные запасы руды и вскрышных пород готовые к выемке [2].

Нарушение этого соотношения в последние годы происходит в основном за счет несоразмерного уменьшения производства вскрышных работ. В отличие от руды, которая является сырьем для производства товарной продукции, вскрыша не представляет ценности. Поэтому на горнодобывающих предприятиях снижение затрат на производство железорудной товарной продукции достигалось путем невыполнения необходимых объемов вскрышных работ. Так, за период 2002–2014 гг. объем добычи сырой железной руды на карьерах Украины увеличился в среднем почти в 1,75 раза, тогда как коэффициент вскрыши остался без изменения, а на некоторых карьерах даже уменьшился. Это привело к накоплению значительных объемов задолженности по вскрыше [3]. В результате отставания вскрышных работ на карьерах уменьшилась ширина рабочих площадок, сократился активный фронт горных работ, были созданы стесненные, а иногда и опасные условия для работы горнотранспортного оборудования. В таких условиях составление производственных программ предприятий, а в последующем и их выполнение, становится все более проблематичным, что подтверждается практикой производства.

Для ликвидации вскрышного отставания нужно выполнить определенный объем вскрышных работ для формирования на всех уступах рабочих площадок, обеспечивающих создание в карьере нормативного готового к выемке запаса горной массы [4].

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросами уменьшения объемов вскрышных работ занимались известные всему миру ученые: доктора наук А.И. Арсентьев [5], М.Г. Новожилов [6], В.В. Ржевский [7] и в настоящее время в Украине занимаются их ученики и последователи доктора наук В.Г. Близиюков [8, 9], М.С. Четверик и др. Они создали методы управления режимом горных работ, позволяющие снижать объемы вскрышных работ при нормальной работе карьеров. Для определения отставания вскрышных работ разработана методика [10] определения объемов вскрышных работ, обеспечивающих в карьере нормальные условия для добычи полезного ископаемого. Однако данная методика не учитывает погашение горных работ при выходе рабочих бортов карьера на проектные контуры. Поэтому область применения методики ограничивается только случаями работы карьера, когда горные работы не достигли проектных контуров по уровню дневной поверхности.

Постановка задач. Цель настоящей работы – усовершенствовать методику определения отставания вскрышных работ, которая позволит определять объемы вскрышных работ, как в случае, когда горные работы не достигли проектных контуров по уровню дневной поверхности, так и в случае погашения горных работ при выходе рабочих бортов карьера на проектные контуры.

Изложение основного материала. Усовершенствованную методику определения отставания вскрышных работ рассмотрим на примере условного карьера, представленного разрезом на рисунку 1.

Ширина рабочей площадки в карьере на рудных уступах определяется по нормативам в зависимости от производительности карьера и длины фронта горных работ по формуле:

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

где B_H – средняя ширина рабочей площадки в карьере, обеспечивающая наличие в нем нормативного запаса руды и объема пустых пород, 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 запасе руды этот коэффициент равен 0,125); L_p – длина активного рудного фронта в карьере, м; h_y – высота рудного уступа, м.

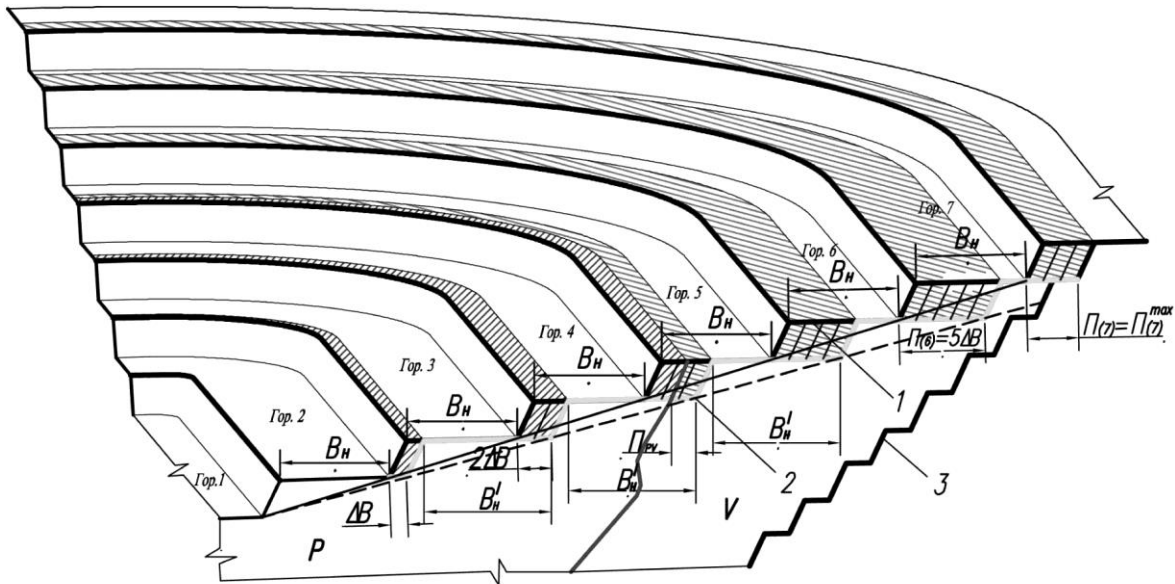


Рис. 1. Схема для определения объемов вскрышных работ при увеличении производительности карьера по руде: 1 и 2 – положение рабочего борта карьера при работе с производительностью по руде A_p и A'_p ; 3 – проектный контур карьера; B_n – нормальная ширина рабочей площадки при производительности карьера по руде A_p ; B'_n – нормальная ширина рабочей площадки при работе карьера с производительностью по руде A'_p .

Из формулы (1) видно, что увеличение производительности карьера по руде в пределах максимально возможного значения возможно за счет увеличения ширины рабочей площадки. При этом увеличение ширины рабочей площадки приводит к уменьшению длины активного фронта горных работ. Поэтому производительность карьера должна определяться с учетом взаимосвязи ширины рабочей площадки и длины активного фронта горных работ, которые обеспечивают в карьере необходимый объем готовых к выемке запасов.

Таким образом при увеличении годовой производительности карьера по руде с величины A_p до A'_p нормальная ширина рабочей площадки на каждом горизонте увеличится с величины B_n до B'_n . При этом ширина рабочей площадки определяется исходя из ее взаимосвязи с длиной активного фронта горных работ обеспечивающих готовые к выемке запасы при увеличении производительности карьера по руде до A'_p .

При увеличении годовой производительности карьера по руде до A'_p нормальная ширина рабочей площадки на каждом горизонте должна увеличиться на ΔB_H :

$$\Delta B_H = B'_H - B_H \text{ м.} \quad (2)$$

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

Текущий коэффициент вскрыши определяется по формуле:

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

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):

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

Как видно из рис. 1, при увеличении производительности карьера по руде на ΔA_p необходимо на горизонте 2 увеличить ширину рабочей площадки на величину ΔB_H ; на вышележащем горизонте (гор. 3) – на величину $2 \Delta B_H$ и так далее до самого верхнего рабочего уступа. В этом случае все рабочие площадки в карьере будут увеличены до нормативных размеров. Кроме этого необходимо учитывать существующую ширину рабочей площадки на горизонте, которая может отличаться от нормативной (B_H), как в большую, так и в меньшую сторону. Поэтому необходимое подвигание i -го горизонта обеспечивающее расширения рабочих площадок до величины B'_H определяется по формуле:

$$П_{(i)} = (i-1) \cdot \Delta B_H + \sum_{j=2}^i П_j^{сущ}, \text{ м,} \quad (5)$$

где $П_j^{сущ}$ – горизонтальное подвигание j -го горизонта за счет увеличения существующей ширины рабочей площадки до нормативного значения B_H , м;

$$П_j^{сущ} = B_H - B_{сущ}, \text{ м.} \quad (6)$$

Горные работы на каждом уступе останавливаются, когда фронт работ подходит к проектным контурам карьера. Поэтому для правильного определения объемов горных работ на каждом i -ом горизонте необходимо, чтобы соблюдалось условие:

$$П_{(i)} < П_i^{\max} \quad (7)$$

где $П_i^{\max}$ – максимально возможное подвигание фронта горных работ на i -м горизонте, которое ограничивается проектными контурами карьера, м.

Если условие (7) не соблюдается, подвигание фронта горных работ на i -м горизонте принимается равным:

$$П_{(i)} = П_i^{\max} \quad (8)$$

Кроме этого для правильного определения объемов горных работ на рудных горизонтах необходимо, чтобы соблюдалось условие:

$$П_{(i)} < П_{p(i)}^{\max} \quad (9)$$

Если условие соблюдается, значит горизонтальное подвигание фронта горных работ по руде ($П_{p(i)}$) на i -ом горизонте составит:

$$П_{p(i)} = П_{(i)} \quad (10)$$

Если условие (9) не соблюдается значит фронт горных работ i -го горизонта выходит за контуры рудного тела, и подвигание по длине рудного фронта необходимо осуществлять как по полезному ископаемому так и по вскрышным породам. Тогда

$$\Pi_{p(i)} = \Pi_{p(i)}^{\max} \quad (11)$$

$$\Pi_{pv(i)} = \Pi_{(i)} - \Pi_{p(i)}^{\max} \quad (12)$$

где $\Pi_{pv(i)}$ - подвигание фронта горных работ по вскрышным породам на участке рудного фронта на i -ом горизонте, м.

Дополнительный объем добычи руды от расширения рабочих площадок (при реконструкции борта) на всех уступах составит:

$$\Delta A_{pB} = \sum_{i=2}^I (\Pi_{p(i)} \cdot L_{p(i)} \cdot h_{y(i)}), \text{ м}^3 \quad (13)$$

где $L_{p(i)}$ – длина активного рудного фронта на i -ом горизонте при ширине рабочей площадки B_H , м; I – количество рабочих уступов в карьере.

Одновременно с реконструкцией рабочего борта карьера для достижения заданной производительности карьера A'_p необходимо параллельно подвигать весь рабочий борт со скоростью l'_p , которая определяется по формуле:

$$l'_p = \frac{A'_p - \Delta A_{pB}}{L'_p \cdot h_y}, \text{ м/год.} \quad (14)$$

где L'_p – длина активного рудного фронта в карьере при ширине рабочей площадки B'_H , м.

Дополнительный объем вскрышных работ (ΔA_{vB}) при расширении рабочих площадок до B'_H определяется по выражению:

$$\Delta A_{vB} = \sum_{i=2}^I (\Pi_{(i)} \cdot L_{v(i)} \cdot h_{y(i)}) + \sum_{i=2}^I (\Pi_{vp(i)} \cdot L_{p(i)} \cdot h_{y(i)}), \text{ м}^3/\text{год} \quad (15)$$

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 (l'_p) должна быть равна скорости горизонтального подвигания вскрышных уступов (l'_v). Из этого следует, что после реконструкции борта карьера для обеспечения заданной производительности по руде A'_p фронт горных работ i -го горизонта за год должен быть подвинут на величину $\Pi_{l(i)}$, которая определяется скоростью горизонтального подвигания:

$$\Pi_{l(i)} = 1 \cdot l'_v, \text{ м} \quad (16)$$

При этом должно соблюдаться условие: суммарное годовое подвигание фронта горных работ i -го горизонта должно быть меньше либо равно максимально возможному подвиганию фронта горных работ на этом горизонте

$$\Pi_{(i)} + \Pi_{l(i)} \leq \Pi_i^{\max} \quad (17)$$

Если условие (17) не соблюдается, значит на данном горизонте горные работы выходят на проектные контуры карьера, а необходимое подвигание фронта горных работ обеспечивающее заданную производительность карьера после расширения рабочих площадок на i -ом горизонте ($\Pi_{l(i)}$) определяется исходя из условия (9).

Если условие (9) соблюдается, то $\Pi_{l(i)}$ определится по формуле:

$$\Pi_{l(i)} = \Pi_i^{\max} - \Pi_{(i)}, \text{ м} \quad (18)$$

Если условие (9) не соблюдается, то $\Pi_{l(i)}$ принимаем равным 0

$$\Pi_{l(i)} = 0 \quad (19)$$

Суммарный объем вскрышных работ, который необходимо удалить из карьера для обеспечения заданной производительности карьера по руде A'_p в зависимости от сложившегося состояния горных работ в карьере и принятой технологии разработки определяется по формуле:

$$\Delta A_v = \Delta A_{vB} + A_{vI} = \sum_{i=2}^I (\Pi_{(i)} \cdot L_{v(i)} \cdot h_{y(i)}) + \sum_{i=2}^I (\Pi_{pv(i)} \cdot L_{p(i)} \cdot h_{y(i)}) + L'_{v(i)} \cdot h_{y(i)} \cdot \Pi_{1(i)}, \quad (20)$$

м³/год,

$$A_{vI} = L'_{v(i)} \cdot h_{y(i)} \cdot \Pi_{1(i)} \quad (21)$$

где A_{vI} – объем вскрышных работ при параллельном перемещении рабочего борта карьера, м³/год;

$L'_{v(i)}$ – протяженность фронта вскрышных работ в карьере при ширине рабочей площадки B'_H , м.

Увеличение ширины рабочих площадок произойдет с коэффициентом вскрыши:

$$\Delta n = \frac{\sum_{i=2}^I (\Pi_{(i)} \cdot L_{v(i)} \cdot h_{y(i)}) + \sum_{i=2}^I (\Pi_{pv(i)} \cdot L_{p(i)} \cdot h_{y(i)})}{\sum_{i=2}^I (\Pi_{p(i)} \cdot L_{p(i)} \cdot h_{y(i)})}, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (22)$$

а текущий коэффициент вскрыши, учитывающий объемы руды и вскрышных пород извлекаемые при расширении рабочих площадок станет равным:

$$n_i = \frac{\sum_{i=2}^I (\Pi_{(i)} \cdot L_{v(i)} \cdot h_{y(i)}) + \sum_{i=2}^I (\Pi_{pv(i)} \cdot L_{p(i)} \cdot h_{y(i)}) + L'_{v(i)} \cdot h_{y(i)} \cdot \Pi_{1(i)}}{A'_p}, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (23)$$

Объем задолженности по вскрыше определяется по формуле:

$$Q_z = \Delta A_{vB} - \frac{L'_v}{L'_p} \Delta A_{pB}, \text{ м}^3, \quad (24)$$

Выводы. Расчеты показали, что при увеличении производительности карьера по руде коэффициент вскрыши увеличивается, как за счет уменьшения угла откоса рабочего борта карьера, так и за счет краткосрочного увеличения скорости горизонтального подвигания каждого вышележащего горизонта по отношению к нижележащему, вследствие расширения рабочих площадок.

В результате выполненных исследований была усовершенствована методика определения объемов вскрышных работ, обеспечивающих в карьере нормальные условия добычи полезного ископаемого при изменении его производительности. Применение данной методики возможно, как в случае, когда горные работы не достигли проектных контуров по уровню дневной поверхности, так и в случае погашения горных работ при выходе рабочих бортов карьера на проектные контуры.

Список использованной литературы:

1. *Анистратов Ю.И.* Проектирование карьеров / *Ю.И. Анистратов, К.Ю. Анистратов.* – М. : ГЕМОС Лимитед, 2003. – 176 с.
2. Норми технологичного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин / Міністерство промислової політики України. – Київ, 2007. – 279 с.
3. *Ковальчук В.А.* Исследование взаимосвязи отставания вскрышных работ и производительности карьера / *В.А. Ковальчук* // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог. – 1999. – Вып. 67. – С. 3–7.
4. *Черепанов Е.В.* Обоснование технологии горных работ на рудных карьерах, имеющих отставание по вскрыше / *Е.В. Черепанов* // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2006. – № 5. – С. 267–270.
5. *Арсентьев А.И.* Проектирование горных работ при открытой разработке месторождений / *А.И. Арсентьев, Г.А. Холодняков.* – М. : Недра, 1994. – 336 с.
6. Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Ч. 2 / *М.Г. Новожилов, В.С. Хохряков, Г.Д. Пчелкин, В.С. Эскин.* – М. : Изд-во Недра, 1971. – 552 с.
7. *Ржевский В.В.* Научные основы проектирования карьеров / *В.В. Ржевский, М.Г. Новожилов, Б.П. Юматов.* – М. : Недра, 1971. – 600 с.
8. *Близнюков В.Г.* Один из путей сохранения нормальной ширины рабочей площадки при уменьшении объемов вскрышных работ в карьере / *В.Г. Близнюков, С.Ю. Оводенко* // Разработка рудных месторождений. – М. : Техника, 1988. – № 45. – С. 11–14.
9. *Близнюков В.Г.* Планирование режима вскрышных работ с учетом производительности карьера по полезному ископаемому / *В.Г. Близнюков, А.В. Савицкий, О.Ю. Близнюкова* // Горный журнал. – 2013. – № 5. – С. 4–8.
10. *Вилкул Ю.Г.* О проблеме отставания вскрышных работ в железорудных карьерах / *Ю.Г. Вилкул, С.А. Луценко, О.Ю. Близнюкова* // Металлургическая и горнорудная промышленность. – Днепропетровск. – 2013. – № 3. – С. 92–96.

References:

1. Anistratov, Ju.I. and Anistratov, K.Ju. (2003), *Proektirovanie kar'erov*, GEMOS Limited, Moskva, 176 p.
2. Ministerstvo promyslovoi' polityky Ukraïny (2007), *Normy tehnologichnogo proektuvannja girnychodobuvnyh pidpryemstv iz vidkrytim sposobom rozrobky rodovyshih korysnyh kopalyn*, Kyï'v, 279 p.
3. Koval'chuk, V.A. (1999), «Issledovanie vzaimosvjazi otstavanija vskryshnyh rabot i proizvoditel'nosti kar'era», *Razrabotka rudnyh mestorozhdenij*, Vol. 67, Krivoj Rog, pp. 3–7.
4. Cherepanov, E.V. (2006), «Obosnovanie tehnologii gornyh rabot na rudnyh kar'erah, imejushhij otstavanje po vskryshe», *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo ajerokosmicheskogo universiteta im. akademika M.F. Reshetneva*, No. 5, pp. 267–270.
5. Arsent'ev, A.I. and Holodnjakov, G.A. (1994), *Proektirovanie gornyh rabot pri otkrytoj razrabotke mestorozhdenij*, Nedra, Moskva, 336 p.
6. Novozhilov, M.G., Hohrjakov, V.S., Pchelkin, G.D. and Jeskin, V.S. (1971), *Tehnologija otkrytoj razrabotki mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh*, Part 2, Izd-vo Nedra, Moskva, 552 p.
7. Rzhetskij, V.V., Novozhilov, M.G. and Jumatov, B.P. (1971), *Nauchnye osnovy proektirovanija kar'erov*, Nedra, Moskva, 600 p.
8. Bliznjukov, V.G. and Ovodenko, S.Ju. (1988), «Odin iz putej sohraneniya normal'noj shiriny rabochej ploshhadki pri umen'shenii ob'emov vskryshnyh rabot v kar'ere», *Razrabotka rudnyh mestorozhdenij*, No. 45, Tehnika, Moskva, pp. 11–14.
9. Bliznjukov, V.G., Savickij, A.V. and Bliznjukova, O.Ju. (2013), «Planirovanie rezhima vskryshnyh rabot s uchedom proizvoditel'nosti kar'era po poleznomu iskopaemomu», *Gornyj zhurnal*, No. 5, pp. 4–8.
10. Vilkul, Ju.G., Lucenko, S.A. and Bliznjukova, O.Ju. (2013), «O probleme otstavanija vskryshnyh rabot v zhelezorudnyh kar'erah», *Metallurgicheskaja i gomorudnaja promyslennost'*, No. 3, Dnepropetrovsk, pp. 92–96.

ЛУЦЕНКО Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент, докторант, доцент кафедры открытых горных работ ГВУЗ «Криворожский национальный университет».

Основные научные направления:

– совершенствование и разработка методов планирования горных работ и проектирования карьеров

– совершенствование и разработка методов реконструкции карьеров.

Тел.: (067) 289–64–56.

E-mail: LutsenkoSergeiA@ukr.net, student3909@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 15.03.2017.