

тивности $\Delta L/L_0$ (сигналу магнитной восприимчивости SX) и общей массе материала m . Введение *нормирования* сигнала SX по массе позволило исключить влияние колебаний *количества* материала в зоне контроля на результат и получить СКО показаний модели от данных химического анализа не более **0.5–0.7%** абс. ед. для различных типов руд и месторождений Кривбасса (при содержании $Fe_{\text{магн}}$ до 30% и постоянной крупности материала).

4. Для ИПП с *частичным насыщением* (накладная плоская катушка с *неравномерным* магнитным полем в зоне контроля) разработана *усовершенствованная* математическая модель (1), учитывающая характерную для данного режима *нелинейность* связи между сигналом магнитной восприимчивости SX и массой m рудного материала. В данной модели за счет введения дополнительной *нормирующей функции* $F_n(m)$ (полином 2...3 степени) также в значительной степени исключается влияние колебаний *количества* (толщины слоя) материала в зоне контроля, что позволяет применять простые, надежные и технологичные *накладные* ИПП на конвейере.

Список литературы

1. Марюта А.Н., Младецкий П.К., Новицкий П.А. Контроль качества минерального сырья, К.; Техника, 1976. -220 с.
2. Соболев В.С., Шкарлет Ю.М. Накладные и экранные датчики.- Новосибирск; Наука, 1967. –143 с.
3. Кудрявцев Ю.И. Индукционные методы измерения магнитной восприимчивости горных пород и руд в естественных условиях. – Л.Недра, 1978. –240 с.

УДК 622.271.33.004.17

О.Ю. БЛИЗНЮКОВА, аспирант

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ГОРНЫХ РАБОТ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КАРЬЕРА НА ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Режим горных работ и производительность карьера по руде являются определяющими факторами при проектировании открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Поэтому ученые и проектировщики при любой технике и технологии горных работ уделяют постоянное внимание совершенствованию методов выбора режима горных работ и производительности карьера. Под режимом горных работ понимают последовательность вскрышных и добычных работ в границах карьерного поля, за весь или длительный период работы карьера. Технологическим признаком ра-

ционального режима горных работ принято считать минимальное значение коэффициентов вскрыши на каждом этапе работы карьера, последовательно начиная с первого (с горно-строительных работ).

Анализ исследований и публикаций. Основоположниками теории режима горных работ и производительности карьера являются Ржевский В.В. [1], Арсентьев А.И. [2, 3]. Дальнейшее развитие методы определения режима горных работ и производительности карьеров получили в трудах их учеников и последователей [4, 5, 6, 7].

Для прибыльного горного предприятия наиболее выгодной принято считать максимально возможную производительность карьера по руде. Ограничением ее величины может быть лишь потребность в полезном ископаемом и нормативные сроки окупаемости капитальных вложений [8].

Постановка задач. Цель настоящей работы показать, что не всегда по вышеуказанным признакам можно выбрать оптимальный режим горных работ карьера и его производительность.

Изложение материалов и результаты.

Для достижения указанной цели проанализировали работу условного карьера с оставшимися запасами полезного ископаемого P , равными 20 млн. т и объемами вскрышных пород V , равными 100 млн. м³.

Первоначально (1 вариант) выбрали режим горных работ, обеспечивающий работу карьера с минимальными текущими коэффициентами вскрыши. После усреднения коэффициентов вскрыши по этапам график $V = f(P)$ [2], изменения нарастающих объемов вскрышных пород в зависимости от нарастающих объемов руды, будет характеризоваться нижней ломаной линией 1 на рис. 1.

По первому варианту режима горных работ усредненный эксплуатационный коэффициент вскрыши в первом этапе (n_1^I) равен 3 м³/т, второго этапа (n_1^{II}) рассчитывается по формуле:

$$n_1^{II} = \frac{V - A_{p1} \cdot n_1^I \cdot t_1^I}{A_{p1} \cdot t_1^{II}} = \frac{100 - 1 \cdot 3 \cdot 10}{1 \cdot 10} = 7 \text{ м}^3/\text{т}, \quad (1)$$

где, $t_1^I = t_1^{II}$ – продолжительность первого и второго этапов эксплуатации карьера при первом варианте режима горных работ, лет;

A_{p1} – максимально возможная производительность карьера по руде при первом варианте ($A_{p1} = 1$ млн. т./год).

Для упрощения расчетов первый и второй этапы эксплуатации по продолжительности приняты равными во всех вариантах режима горных работ и производительности карьера по руде.

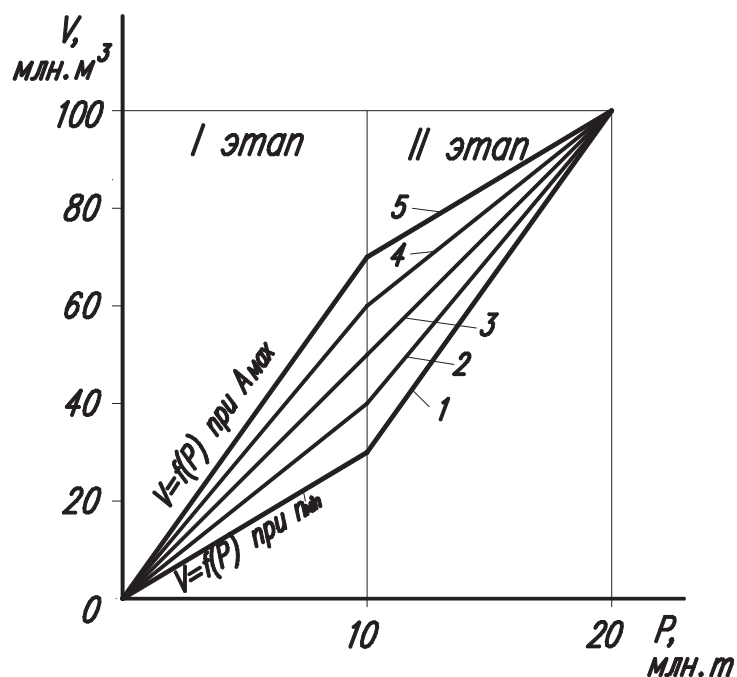


Рис. 1. Изменение нарастающих объемов пустых пород (V) в зависимости от изменения нарастающих объемов полезного ископаемого (P) при производительности карьера по полезному ископаемому, млн. т/год: 1 – 1,0; 2 – 1,25; 3 – 1,5; 4 – 1,75; 5 – 2,0

Вторым рассмотрели вариант режима горных работ, обеспечивающий достижение максимально возможной производительности карьера по руде. Он представлен верхней ломаной линией на рис. 1. Здесь возможна производительность по руде – 2 млн. т/год (A_{max} – 5-й вариант). Такой производительности по руде удалось достичь за счет дополнительного вовлечения в разработку участков с большими коэффициентами вскрыши на первом этапе работы карьера. Коэффициент вскрыши в первом этапе разработки этого варианта (n_5^I) достиг величины $7 \text{ м}^3/\text{т}$.

Для анализа других возможных вариантов режима горных работ между двумя крайними выделили еще три режима горных работ (рис. 1).

Все технологические и экономические показатели доработки карьера, необходимые для экономической оценки различных вариантов работы, представлены в табл. 1.

В нашем примере предполагается, что рассматриваемый карьер является действующим, имеющим развитую инфраструктуру и соответствующую материальную базу. Основных производственных фондов, находящихся на балансе предприятия, хватает для горных работ на базовом уровне: производительность карьера по руде 1 млн. т/год, по пустым породам – 3 млн. $\text{м}^3/\text{год}$ (при среднем коэффициенте вскрыши $3 \text{ м}^3/\text{т}$); по горной массе – 7 млн. т/год (при объемной массе пустых пород $2 \text{ т}/\text{м}^3$). Поэтому варианты возможной производительности карьера и режима горных работ можно оценивать с экономической точки зрения только из производственных показателей добычи и реализации руды и выемки объемов пустых пород. При этом из экономической оценки сравниваемых

вариантов можно исключить капитальные затраты на строительство карьера, как равные для всех сравниваемых вариантов и не оказывающие влияния на разницу в вариантах. Необходимые дополнительные капитальные инвестиции на увеличение производственной мощности карьера по горной массе принимаются равными:

$$\Delta K = \kappa \cdot \Delta \Gamma_{\phi}, \text{ грн.}, \quad (2)$$

где ΔK – дополнительные капитальные вложения на увеличение производственной мощности карьера по горной массе ($\Delta \Gamma_{\phi}$) от базового варианта, грн.; κ – удельные капитальные вложения на увеличение производительности карьера по горной массе на 1 т, грн. [8].

Таблица 1

Показатели доработки карьера по вариантам режима горных работ

№ п/п	Показатели	Варианты				
		1	2	3	4	5
1	Запас руды в контурах карьера, млн. т	20	20	20	20	20
2	Объем пустых пород в контурах карьера, млн. м ³	100	100	100	100	100
3	Производительность карьера по руде, млн. т/год	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0
4	Коэффициент вскрыши первого этапа работы карьера, м ³ /т	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
5	Коэффициент вскрыши второго этапа работы карьера, м ³ /т	7,0	6,0	5,0	4,0	3,0
6	Продолжительность доработки карьера, лет	20,0	16,0	13,3	11,4	10,0
7	Себестоимость добычи руды без затрат на вскрышу, грн./т	19	19	19	19	19
8	Затраты на вскрышные работы, грн./м ³	19	19	19	19	19
9	Удельные капитальные затраты на увеличение производительности карьера по горной массе, грн./м ³	15	15	15	15	15
10	Цена полезного ископаемого, грн./т	310	310	310	310	310

С учетом вышесказанного суммарная прибыль от доработки месторождения определяется по выражению:

$$П = Ц - \Delta K - \mathcal{E}_v - \mathcal{E}_p, \text{ грн.}, \quad (3)$$

где $Ц$ – суммарная ценность полезного ископаемого, грн.; \mathcal{E}_v – суммарные эксплуатационные затраты на выемку вскрышных пород, грн.; \mathcal{E}_p – тоже, на добычу руды, но без затрат на вскрышу, грн.

Составляющие получения суммарной прибыли определяются следующим образом:

$$Ц = \varrho \cdot A_p \cdot T, \text{ грн.}; \quad (4)$$

$$\mathcal{E}_v = \varepsilon \cdot (A_v^I \cdot t^I + A_v^{II} \cdot t^{II}), \text{ грн.}; \quad (5)$$

$$\mathcal{E}_p = a \cdot A_p \cdot T, \text{ грн.}; \quad (6)$$

где ϱ – цена руды, грн./т; A_p – производительность карьера по руде, млн. т/год; T – продолжительность доработки запасов руды, оставшихся в контурах карьера, лет; ε – затраты на вскрышные работы, грн./т; A_v^I и A_v^{II} – объемы вскрышных работ в I и II этапах работы карьера, млн. т/год; t^I и t^{II} – продолжительность I и II этапов работы, лет; a – себестоимость добычи руды без затрат на вскрышу, грн./т.

После приведения затрат и доходов горного предприятия к одному моменту оценки (к началу расчетного периода) получим:

$$\begin{aligned} \Pi = & \varrho \cdot A_p \cdot \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+E)^t} - \Delta \Gamma_{\delta} \cdot \kappa \cdot \frac{1}{(1+E)^{t_{\kappa}}} - \\ & - \varepsilon \cdot \left[A_v^I \cdot \sum_{t=1}^{t^I} \frac{1}{(1+E)^t} + A_v^{II} \cdot \sum_{t=t^I+1}^T \frac{1}{(1+E)^t} \right] - a \cdot A_p \cdot \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+E)^t} \end{aligned}, \text{ грн.} \quad (7)$$

или

$$\begin{aligned} \Pi = & A_p \cdot \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+E)^t} \cdot (\varrho - a) - \varepsilon \cdot \left[A_v^I \cdot \sum_{t=1}^{t^I} \frac{1}{(1+E)^t} + A_v^{II} \cdot \sum_{t=t^I+1}^T \frac{1}{(1+E)^t} \right] - \\ & - \Delta \Gamma_{\delta} \cdot \kappa \cdot \frac{1}{(1+E)^{t_{\kappa}}} \end{aligned}, \text{ грн.}, \quad (8)$$

где, E – процентная ставка дисконтирования; t_{κ} – порядковый номер года (начиная с момента расчета) ввода дополнительных капитальных инвестиций на увеличение мощности карьера по горной массе от базовой.

Первоначально для каждого варианта производительности карьера по руде по формуле (8) рассчитали суммарную прибыль от разработки месторождения в зависимости от величины коэффициента вскрыши первого этапа разработки (n^I). Наглядно эта зависимость представлена на рис. 2.

Из графика видно, что при любой производительности карьера по руде работа с минимальным коэффициентом вскрыши, начиная с первого этапа, обеспечит наибольшую прибыль от разработки месторождения.

По той же формуле рассчитали суммарную прибыль и построили график ее зависимости от производительности карьера по руде для каждого варианта режима горных работ (при различных значениях коэффициента вскрыши первого этапа), который представлен на рис. 3.

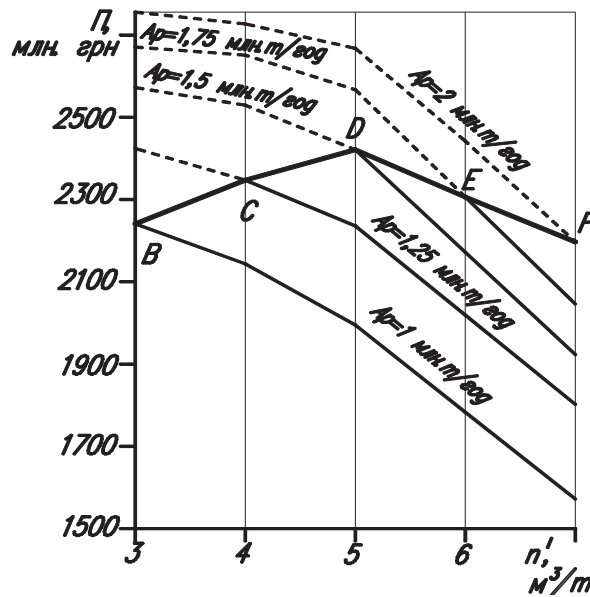


Рис. 2. График изменения прибыли в зависимости от изменения коэффициента вскрыши первого этапа работы карьера при различной его производительности по полезному ископаемому

Из графиков (рис. 3) видно, что для любого режима горных работ увеличение производительности карьера по руде повышает экономическую эффективность разработки месторождения. Проведенные исследования подтвердили, что признаком оптимального режима горных работ при заданной производительности карьера по руде является минимальное значение коэффициента вскрыши на любой момент времени, последовательно начиная с начала разработки месторождения.

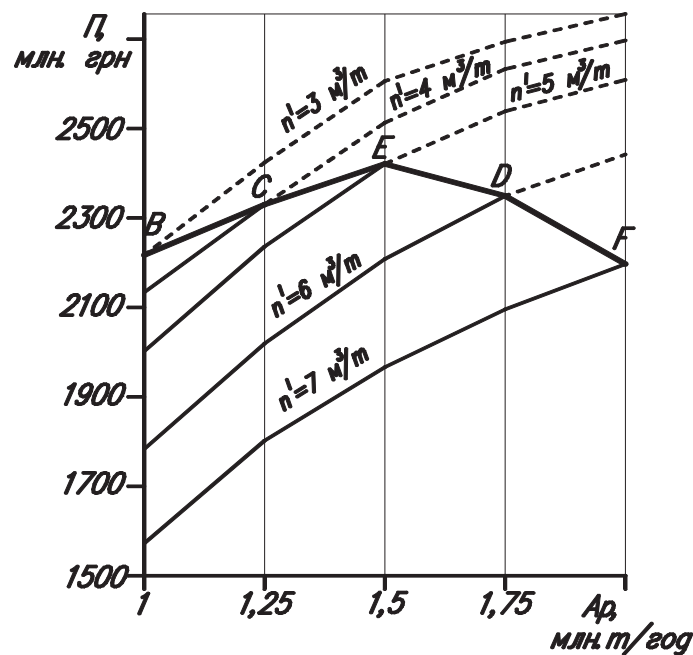


Рис. 3. График изменения прибыли в зависимости от изменения производительности карьера по полезному ископаемому при коэффициенте вскрыши первого этапа работы от 3 до 7 м³/т

А при выбранной последовательности отработки карьерного поля оптимальной производительностью будет максимально достижимая производительность карьера по полезному ископаемому.

Существующие технологические взаимосвязи режима горных работ и производительности карьера по полезному ископаемому не всегда позволяют одновременно уменьшить объемы вскрышных работ и увеличить производительность карьера (табл. 1). При увеличении производительности карьера по полезному ископаемому чаще всего приходится дополнительно вовлекать в разработку участки карьерного поля с большими коэффициентами вскрыши. Кроме этого, увеличение производительности карьера по полезному ископаемому влечет не к пропорциональному увеличению объемов вскрышных работ, а к увеличению коэффициентов вскрыши. Последнее вызвано необходимостью сохранения нормативных запасов руды и объемов вскрышных пород, готовых к выемке [8].

Из графиков (рис. 2 и 3) видно, что ни коэффициент вскрыши, ни величина производительности карьера по полезному ископаемому, взятые в отдельности (без учета их технологических взаимосвязей) не могут служить признаками оптимального режима горных работ. На этих рисунках пунктирная часть линий показывает область, в которой работа карьера невозможна. На рис. 2 видно, что только при производительности карьера по полезному ископаемому 1 млн. т/год можно работать с любым коэффициентом вскрыши на первом этапе разработки месторождения (n^I). Лучший вариант, когда коэффициент вскрыши на первом этапе разработки минимальный ($n^I = n^I_{\min}$), и на графике характеризуется точкой **В**. Если потребность в полезном ископаемом возрастет до величины 1,25 млн. т/год, то необходимо изменить коэффициент вскрыши на первом этапе разработки месторождения до 4 м³/т (на графике т. **С**); при дальнейшем росте потребности в полезном ископаемом и соответствующем увеличении производительности карьера до 1,5; 1,75 и 2,0 млн. т/год необходимо на первом этапе разработки месторождения увеличить коэффициент вскрыши соответственно до 5; 6 и 7 м³/т (на графике т. **Д**, **Е** и **Ф** соответственно). Тогда кривая **BCDEF** покажет лучший реальный вариант режима горных работ и производительности карьера по полезному ископаемому: $A_p = 1,5$ млн. т/год и $n^I = 5$ м³/т.

Также на рис. 3 видно, что только при коэффициенте вскрыши первого этапа разработки месторождения, равном 7 м³/т, можно достичь производительности карьера по полезному ископаемому от 1,0 до 2,0 млн. т/год. Наиболее прибыльным, при таком режиме горных работ ($n^I = 7$ м³/т), является вариант с производительностью карьера по полезному ископаемому 2,0 млн. т/год. Другие реальные сочетания режима горных работ и производительности карьера по полезному ископаемому отмечены на графиках точками **BCDEF**. В результате по графикам видно, что наиболее выгодным реальным сочетанием режима горных работ и производительности карьера по полезному ископаемому оказался вариант: $A_p = 1,5$ млн. т/год и $n^I = 5$ м³/т.

В случаях разработки месторождения с переменным качеством руды, режим горных работ и производительность карьера по руде следует выби-

рять с учетом поэтапного изменения и качества полезного ископаемого. В приведенном примере изменение качества полезного ископаемого может быть учтено изменением его цены.

Выводы.

1. Исследования подтвердили, что:

- при любой постоянной производительности карьера по полезному ископаемому работа с минимальными текущими коэффициентами вскрыши обеспечит больший экономический эффект от разработки месторождения;

- при неизменном режиме горных работ (неизменной последовательности вскрышных и добычных работ) и прочих равных условиях увеличение производительности карьера по руде приведет к повышению экономической эффективности разработки месторождения.

2. Ни минимальные значения коэффициентов вскрыши, ни величина производительности карьера по полезному ископаемому, взятые в отдельности, не могут служить признаком экономической эффективности разработки месторождения.

3. Экономическую оценку режима горных работ и производительности карьера по полезному ископаемому необходимо выполнять с учетом их технологических взаимосвязей.

Список литературы

1. Ржевский В.В. Режим горных работ при открытой добыче угля и руды. / В.В. Ржевский –М.: Углетехиздат, 1957. –220 с.

2. Арсентьев А.И. Определение производительности и границ карьеров. – 2-е изд., перераб. и доп. / А.И. Арсентьев. –М.: Недра, 1970. –320 с.

3. Арсентьев А.И. Производительность карьеров. / А.И. Арсентьев. – М.: Изд-во Санкт-Петербургский горный институт. 2002. –85 с.

4. Близнюков В.Г. Определение главных параметров карьера с учетом качества руды. / В.Г. Близнюков – М.: Недра, 1978. –151 с.

5. Анистратов Ю.И. Открытые горные работы. / Ю.И. Анистратов, К.Ю. Анистратов, М.И. Щадов // Справочник по открытым горным работам. –М.: НТЦ «Горное дело». 2010. –700 с.

6. Четверик М.С. Методика определения производительности карьера, достижимой по горнотехническим возможностям. / М.С. Четверик, О.А. Медведева // Сборник научных трудов Национального горного университета. – Днепропетровск, 2002. -№ 15 –Т. 1. –С. 94-98.

7. Дриженко А.Ю. Новые технологические решения по разработке глубоких железорудных карьеров этапами. / А.Ю. Дриженко // Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр: Сборник научных трудов. Вып. 2. Институт горного дела УрО РАН. Екатеринбург: Изд-во ИГД УрО РАН. –2004. –С. 212-225.

8. Нормы технологического проектирования горно-добывающих предприятий черной металлургии с открытым способом разработки. –Л.: Гипроруда, 1986, -264 с.