УДК 622.271.(075.83)

М.П.БУКАСА
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ВСКРЫШИ С ПОМОЩЬЮ ГРАФИКА ЕЕ МИНИМАЛЬНЫХ ТЕКУЩИХ ОБЪЕМОВ

Работа посвящена аналитическому методу решения задачи стабилизации производительности карьера по горной массе. Установлена зависимость усредненного эксплуатационного коэффициента вскрыши от продолжительности эксплуатационного периода деятельности карьера. Практические расчеты представлены для условий разработки одного из алмазоносных кимберлитовых месторождений Демократической республики Конго и выполнены с помощью вычислительной программы на основе AutoCAD 2006 и Microsoft Excel.

The Work is devoted to an analytical method of the solution to the problem of stabilization of Open Pit Mine productivity. Dependence of the average operational coefficient of opening mine from duration of the operational period of activity of Open Pit Mine is established. Practical calculations are presented for one of the diamond kimberlitic pipes of Democratic Republic Congo and executed on the basis of AutoCAD 2006 and Microsoft Excel.

Определение и усреднение эксплуатационного коэффициента вскрыши необходимо для обеспечения равномерного режима горных работ в определенный период деятельности карьера, достаточный для амортизации основного горно-транспортного оборудования (7-12 лет).

Задача состоит в расчете эксплуатационного коэффициента вскрыши на основе графика ее минимальных текущих объемов с помощью переноса части объемов вскрышных работ на более ранние периоды эксплуатации (рис.1) [1, 2].

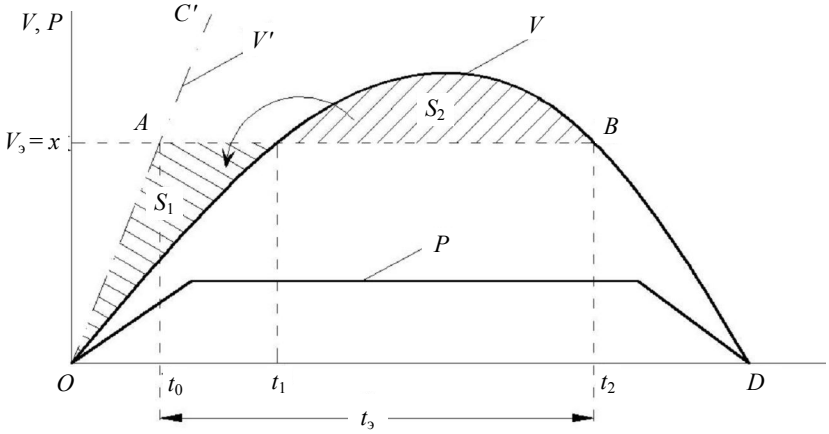


Рис.1. График текущих объемов вскрыши при переносе части ее объемов на более ранний период эксплуатации

V и *P* – соответственно объем вскрыши и руды; *H* и *T* – глубина и время эксплуатации карьера; *OABD* – усредненный график выемки вскрышных пород; ОС – линия максимально возможного нарастания производительности карьера по вскрыше в начальный период; $A = V'(t_0)$; $B = V(t_2)$

Важной особенностью предлагаемого метода является то, что он позволяет определить и длительность периода работы карьера со стабильным объемом горной массы.

Заметим, что так как глубина H пропорциональна времени эксплуатации карьера T, то можно преобразовать график $V = f(H)$ к $V = f(T)$ или $V = f(t)$, т.е $t = \lambda H$, где λ – коэффициент пропорциональности. Для упрощения задачи будем считать, что $\lambda = 1$, т.е. t соответствует H.

Принцип стабилизации основан на выравнивании переносимых (S_2) и перенесенных (S_1) объемов вскрышных пород на более ранние периоды эксплуатации, причем

$$S_1 = \int_0^{t_0} (V' - V)dt + \int_{t_0}^{t_1} (x - V)dt,$$

$$S_2 = \int_{t_1}^{t_2} (V - x)dt,$$

где $V_э = x$ – искомое усредненное значение эксплуатационного объема вскрыши; V' – уравнение линии OC, $V' = ct$; c – его коэффициент; $V = f(t)$ – приемлемая функция аппроксимации графика минимальных текущих объемов вскрыши $V = f(H)$; t_0 – начало периода работы карьера со стабильной горной массой; t_2 – окончание этого периода; $t_э$ – общая продолжительность этого периода; $t_э = t_2 - t_0$, если $t_2 > t_0$ или $t_э = t_0 - t_2$, если $t_2 < t_0$; t_1 – год эксплуатации карьера, когда S_1 становится равным S_2.

Для демонстрации метода рассмотрим одно из коренных кимберлитовых алмазоносных месторождений ОАО «МИБА» Демократической республики Конго [3], где выбрано вертикальное направление развития горных работ по центру рудного тела (рис.2) со скоростью углубки $h_г = 15$ м/год и со следующими параметрами: $B_{min} = 40$ м – минимальная ширина рабочей площадки; мощность трубки 450 м; проектная глубина 750 м; $\alpha = 75°$ – угол откоса уступа; $\beta = 45°$ – угол конечного борта карьера; $h = 15$ м – высота уступа; следовательно $\varphi_{max} = 19°$ – угол рабочего борта карьера, определенный из выражения

$$\mathrm{tg}\varphi_{max} = \frac{h}{B_{min} + h\mathrm{ctg}\alpha}.$$

На основе программы AutoCAD 2006 объемы полезного ископаемого и вскрыши, извлекаемые на каждом этапе углубки, рассчитаны умножением площади, образующейся относительно вертикального направления углубки, на длину карьера 1000 м (см. таблицу).

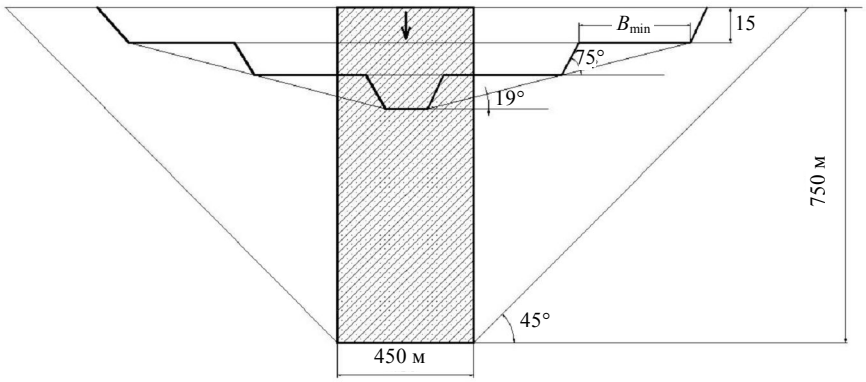


Рис.2. Поперечный разрез массива 1 алмазоносной кимберлитовой трубки ОАО «МИБА» Демократической республики Конго

Минимальные текущие объемы руды $V = f(H)$ и вскрыши $P = f(H)$ по мере углубления горных работ

Горизонт	Руда, млн м^3	Вскрыша, млн м^3	Горизонт	Руда, млн м^3	Вскрыша, млн м^3	Горизонт	Руда, млн м^3	Вскрыша, млн м^3
0	0,00	0,00	20	6,75	18,73	40	6,75	13,04
1	0,65	0,00	21	6,75	20,04	41	6,75	12,43
2	1,96	0,00	22	6,75	22,11	42	6,75	11,58
3	3,27	0,00	23	6,75	21,89	43	6,75	10,98
4	4,57	0,00	24	6,75	23,74	44	6,75	10,29
5	5,88	0,00	25	6,75	23,33	45	6,75	9,61
6	6,73	0,46	26	6,75	22,65	46	6,75	8,92
7	6,75	1,74	27	6,75	21,96	47	6,75	8,23
8	6,75	3,05	28	6,75	21,27	48	6,75	7,55
9	6,75	4,36	29	6,75	20,59	49	6,75	6,86
10	6,75	6,60	30	6,75	19,90	50	6,75	6,17
11	6,75	6,97	31	6,75	19,22	51	6,75	5,49
12	6,75	8,18	32	6,75	18,53	52	6,75	4,80
13	6,75	9,59	33	6,75	17,84	53	6,75	4,12
14	6,75	10,89	34	6,75	17,16	54	6,46	3,43
15	6,75	12,20	35	6,75	16,47	55	5,23	2,74
16	6,75	13,51	36	6,75	15,78	56	3,92	2,06
17	6,75	14,81	37	6,75	15,10	57	2,61	1,37
18	6,75	16,12	38	6,75	14,41	58	1,30	0,69
19	6,75	17,43	39	6,75	13,73	59	0,16	0,09

По данным таблицы в Microsoft Excel построены графики минимальных текущих объемов вскрыши (рис.3).

Результаты построения в Microsoft Excel графика текущих объемов вскрыши $V = f(H)$ показывают, что для рассматриваемого случая, аппроксимацией $V = f(t)$ является полиномиальная функция пятой степени без константы: $V = -1{,}7227t^5 + 255{,}17t^4 - 12934t^3 + 226969t^2 - 62222t$ или $V = \sum_{n=1}^{5} k_{\text{п}} t_2^n$; где $k_{\text{п}}$ – известные коэффициенты полинома. В обобщенном виде она будет полиномиальной функцией степени n без константы, т.е. $V = \sum_{1}^{n} k_{\text{п}} t_2^n$.

Так как V' является линейной функцией от c, то аналитически ее можно записать в виде $V' = ct$; где $c = K / h$; K – коэффициент, зависящий только от производительности применяемого горно-транспортного оборудования и принятых высоты уступа h и минимальной длины экскаваторного блока $l_{\min}$.

Таким образом, производительность карьера по вскрыше V будет стабильной при $V = V_{\text{э}}$, т.е. при $V_{\text{э}} = x$, или при $V_{\text{э}} = x \Leftrightarrow S_1 = S_2$:

$$V_{\text{э}} = \frac{\sum_{1}^{n} k_{\text{п}} \frac{t_2^{n+1}}{n+1} - \frac{c}{2} t_0^2}{t_2 - t_0} = \frac{\frac{c}{2} t_0^2 - \sum_{1}^{n} k_{\text{п}} \frac{t_2^{n+1}}{n+1}}{t_0 - t_2}. \qquad (1)$$

Эксплуатационный коэффициент вскрыши вычисляется по формуле $K_{\text{э}} = V_{\text{э}} / P$, где P – производительность карьера по полезному ископаемому, м^3.

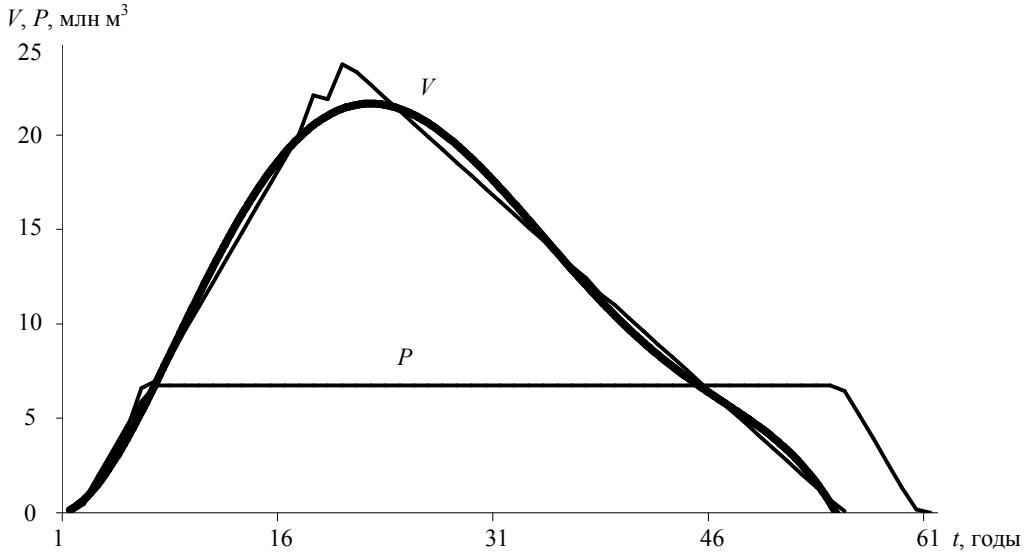


Рис.3. Аппроксимация графика минимальных текущих объемов вскрыши

Следовательно, эксплуатационный коэффициент вскрыши

$$K_э = \frac{\sum_1^n k_п \frac{t_2^{n+1}}{n+1} - \frac{c}{2}t_0^2}{t_2 - t_0}\frac{1}{P} =$$

$$= \frac{\frac{c}{2}t_0^2 - \sum_1^n k_п \frac{t_2^{n+1}}{n+1}}{t_0 - t_2}\frac{1}{P} \quad . \qquad (2)$$

Из графика следует, что

$$\begin{cases} V_э = x = ct_0 \\ V_э = x = \sum_1^n k_п t_2^n \end{cases}.$$

Решив эту систему, получим

$$t_0 = \frac{\sum_1^n k_п t_2^n}{c}. \qquad (3)$$

Подставляя t_0 из (3) и $V_э = x = \sum_1^n k_п t_2^n$ в (1), получим

$$\sum_1^n (n+1)k_п t_2^{n-1} - 2nc = 0 \, . \qquad (4)$$

Применительно к нашим условиям $P = 6{,}75$ млн м^3; $c = 3{,}9/15$ млн м^3; $n = 5$, $k_5 = -1{,}7227$; $k_4 = 255{,}17$; $k_3 = -12934$; $k_2 = 226969$; $k_1 = -62222$.

Подставляя эти значения в (4), по методу Ньютона найдем $t_0 = 7{,}5$ лет и $t_2 = 17{,}6$ лет, следовательно, $t_э = 10{,}1$ лет и согласно формуле (2), получим $K_э = 2{,}8$.

Выводы

1. При производительности карьера по руде, равной 16,0 млн т в год (6,7 млн м^3) равномерный режим горных работ может быть установлен в течение 10 лет с ежегодным объемом горной массы в 25,8 млн м^3. Эксплуатационный коэффициент вскрыши при этом составит 2,8.

2. Эксплуатационный коэффициент вскрыши обратно пропорционален продолжительности стабильного эксплуатационного периода и выражается зависимостью

$$V_э = \frac{\sum_1^n k_п \frac{t_2^{n+1}}{n+1} - \frac{c}{2}t_0^2}{t_э}.$$

3. Приемлемая аппроксимация графика функции минимальных текущих объемов вскрыши при разработке алмазоносных кимберлитовых месторождений является полиноминальной функцией n степени без константы $V = \sum_{1}^{n} k_{\text{п}} t_2^n$, где $k_{\text{п}}$ – коэффициенты полиноминальной аппроксимация этой функции.

4. Начало стабильного периода эксплуатации карьера обратно пропорционально величине c.

5. Начало и окончание стабильного периода эксплуатации карьера связаны зависимостью

$$t_0 = \sum_{1}^{n} k_{\text{п}} t_2^n / c .$$

6. График выемки вскрышных пород представляет собой ломаную линию OABD.

7. Период эксплуатации карьера, в течение которого область перенесенных объемов вскрыши на ранний период равна области переносимых объемов вскрыши ($S_1 = S_2$), $T = t_1$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование графиков минимальных текущих объемов пород-отходов карьеров для стабилизации горных работ / Д.Г.Холодняков, П.В.Андриевский, А.В.Половшнко, М.П.Букаса // Труды 10-й межд. конф. «Экология и развитие общества» / МАНЭБ. СПб, 2007. С. 86-90.

2. *Холодняков Д.Г.* Усреднение производительности карьера по вскрышным пород с использованием графика их минимальных текущих объемов / Д.Г.Холодняков, П.В.Андриевский // Труды 5-й науч.-практ. конф. «Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения». Воркута, 2007. С.141-143.

3. *Холодняков Г.А.* Режим малоотходной открытой разработки алмазоносных месторождений Конго / Г.А.Холодняков, М.П.Букаса // Труды 10-й межд. конф. «Экология и развитие общества» / МАНЭБ. СПб, 2007. С.91-92.

Научный руководитель д-р техн. наук проф. *Г.А.Холодняков*