

УДК 622. 271. (075. 83)

Д.Г. Холодняков**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАВНОМЕРНОГО РЕЖИМА
ГОРНЫХ РАБОТ С ПОМОЩЬЮ ГРАФИКА
МИНИМАЛЬНЫХ ТЕКУЩИХ ОБЪЕМОВ ВСКРЫШИ***Предложена методика построения графиков минимальных текущих объемов вскрыши для месторождений с различным рельефом местности.**Ключевые слова: добыча, вскрышные работы, карьер, рудная залежь, месторождение, горная порода.*

Режим горных работ характеризуется изменением объемов добычи и извлечения горных пород — отходов карьера по годам за весь период его существования. Экономическая эффективность работы предприятия достигается при равномерном режиме горных работ, когда они ведутся с постоянными объемами вскрышных пород.

Опыт ранних исследований и существующей проектной практики геометрического анализа карьерных полей показал возможность достаточно достоверной замены операций над объемами горной массы операциями над площадями.

В случае постоянного направления углубки горных работ (для залежей с постоянным углом падения и развитием работ вдоль одного из контактов залежи) операции с объемами горной массы так же можно заменить операциями с линейными отрезками образующих рабочего борта карьера.

При годовом понижении горных работ на один уступ высотой h текущий объем вскрыши будет равен (рис. 1):

$$V = S_1 a = (B + h \cdot ctg\alpha) \cdot H \cdot a + \Delta S \cdot a,$$

при $a = 1$;

$$S_1 = (B + h \cdot ctg\alpha) \cdot H + \Delta S, \text{ но}$$

$$ctg\varphi = \frac{B + h \cdot ctg\alpha}{h}.$$

Тогда:

$$S_1 = H \cdot h \cdot ctg\varphi + \Delta S;$$

$$\Delta S = \frac{h^2}{2} \cdot ctg\alpha;$$

$$S_1 = H \cdot h \cdot ctg\varphi + \frac{h^2}{2} \cdot ctg\alpha;$$

$$S_2 = \frac{OA + O_1A_1}{2} \cdot \Delta x; \quad OA = \frac{H}{\sin\varphi};$$

$$O_1A_1 = \frac{H + h}{\sin\varphi}; \quad \Delta x = h \cos\varphi.$$

Таким образом:

$$S_2 = \frac{H + \frac{h}{2}}{\sin\varphi} \cdot h \cdot \cos\varphi =$$

$$= H \cdot h \cdot ctg\varphi + \frac{h^2}{2} \cdot ctg\varphi.$$

Разность площадей

$$S_2 - S_1 = \frac{h^2}{2} \cdot (ctg\alpha - ctg\varphi)$$

представляет собой площадь заштрихованного треугольника. Если считать, что текущие объемы вскрыши определяются для малого отрезка времени Δt , то $h \rightarrow 0$, $\Delta x \rightarrow 0$, а значит и площадь треугольника будет стремиться к нулю и ею можно пренебречь.

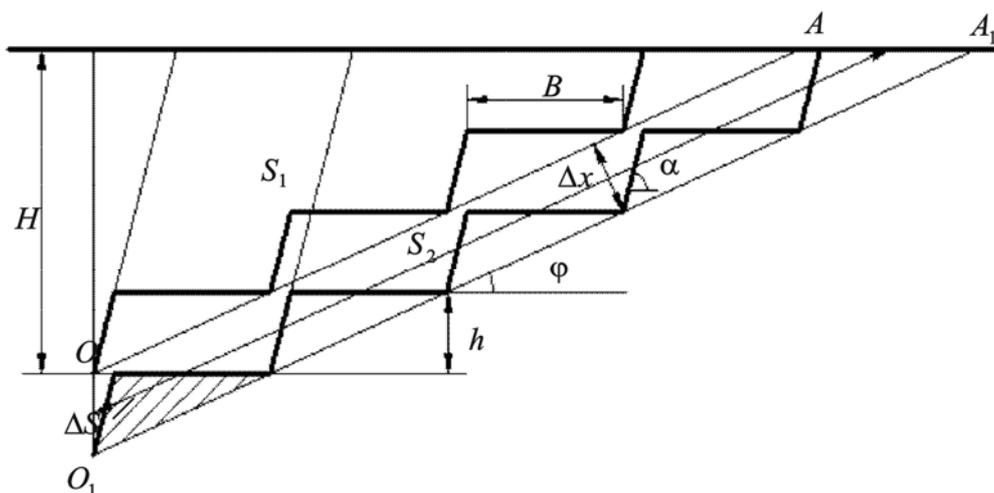


Рис. 1. Схема развития горных работ при снижении их на величину одного уступа: a — длина залежи (карьера), м; B — ширина рабочей площадки, м; α — угол откоса уступа, град; φ — угол откоса рабочего борта карьера, м; H — глубина карьера на текущее время, м; $S_2=OO_1A_1A$ — объём работ при перемещении образующей рабочего борта карьера из положения OA в положение O_1A_1 при углубке карьера на величину h

Тогда:

$$S_1 = S_2 = L;$$

где $L=OA$ и O_1A_1 — длина образующей рабочего борта карьера в начальном и конечном положении при углубке на бесконечно малую величину. В соответствующем масштабе L будет выражать текущий объём горной массы.

Таким образом, закономерности изменения величины образующей борта карьера (а соответственно и поверхности бортов карьера по вскрышным породам) и законы изменения текущих объемов с глубиной одинаковы. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать изменение величины образующей рабочего борта карьера по вскрышным породам и отождествлять закономерности этих изменений с изменениями текущих объемов вскрыши. Для исследования зависимости текущих объемов вскрыши от формы залежи в плане найдем функцию:

$$V = f(\varepsilon),$$

где $\varepsilon = \frac{a}{b}$ — эксцентриситет залежи;

a, b — соответственно длина и ширина залежи полезного ископаемого, м.

Рассматривая карьер, как усеченный конус и призму, определим поверхность рабочих бортов карьера по вскрышным породам:

$$\begin{aligned} S &= S_k + S_{np} = \left(L \cdot \cos \varphi + \frac{b}{2} \right) \times \\ &\times \left(L - \frac{b}{2 \cdot \cos \varphi} \right) \cdot \pi + \\ &+ 2 \cdot \left(L - \frac{b}{2 \cdot \cos \varphi} \right) \cdot a = \\ &= \left(L - \frac{b}{2 \cdot \cos \varphi} \right) \left[\pi \cdot \left(L \cdot \cos \varphi + \frac{b}{2} \right) + 2a \right] \end{aligned}$$

где S_k, S_{np} — площадь поверхности усеченного конуса и призмы соответственно, m^2 .

Но $a \cdot b = S_p$ — горизонтальная площадь залежи полезного ископаемого. Тогда выражая a и b через эксцентриситет ε и площадь рудной залежи, соответственно: $a = \sqrt{\varepsilon \cdot S_p}$ и

$$b = \sqrt{\frac{S_p}{\varepsilon}}, \text{ получим:}$$

$$S = V_T = \left(L - \sqrt{\frac{S_p}{4\varepsilon}} \cdot \frac{1}{\cos \varphi} \right) \times \\ \times \left[\pi \cdot \left(L \cdot \cos \varphi + \sqrt{\frac{S_p}{4\varepsilon}} \right) + 2\sqrt{\varepsilon \cdot S_p} \right].$$

На основании этого выражения был построен график изменения текущих объемов с глубиной (рис.2) для $S_p = 10000 \text{ м}^2$, $\varphi = 15^\circ$ и случаев: $\varepsilon = 1$; $\varepsilon = 5$; $\varepsilon = 10$; $\varepsilon = 20$.

Предлагаемый метод позволяет получить зависимость для построения графика минимальных текущих объемов вскрыши, который представляет собой тот минимальный план выемки вскрышных пород при принятых системе и направлении развития горных работ, при котором возможна безопасная работа карьера с заданной производительностью по полезному ископаемому. С точки зрения реализации, такой режим работы предприятия, из-за отсутствия стабильного периода работы с одинаковой производительностью по горной массе, весьма затруднителен, однако он позволяет ограничить область возможных решений и является исходным при обосновании оптимального календарного графика вскрышных работ.

Как показывает анализ месторождений, графики минимальных текущих объемов имеют самую разнообразную форму. Более того, даже при

исследовании одного карьера в зависимости от порядка развития фронта работ, элементов системы разработки и т.д. форма графика будет различной. Она оказывает существенное влияние на результаты выбора оптимального режима горных работ.

Смысл усреднения текущих объемов вскрыши заключается в том, что в отдельные годы эксплуатации карьера создается опережающая выемка вскрышных пород. Графически (рис. 3) это можно представить так. Если область B представляет собой объемы вскрышных пород, удаляемых по графику текущих объемов, то при усреднении часть объемов из этой области вынимается в более ранние периоды, то есть эти объемы переносятся в область A . Усредненный график удаления вскрышных пород будет иметь, таким образом, форму ломаной линии $OMNE$.

Область усреднения A , в которую можно переносить отработку объемов вскрыши с более позднего на более ранний период времени, со стороны оси ординат ограничивается линией OC максимально возможного нарастания производительности карьера по вскрыше в начальный период. Эта линия представляет собой график выемки вскрыши при заданном годовом понижении горных работ по полезному ископаемому и таком их развитии, когда все вводимые экскаваторы работают при минимальной длине их фронта.

Как видно из этого примера, условия усреднения текущих объемов вскрыши будут тем благоприятнее, чем быстрее, считая с начала координат, увеличивается область A и медленнее возрастает, считая с точки пиковых объемов, область B .

При разделении области A на участки (рис. 3) с равным изменением текущих объемов dV видно, что одинаковая

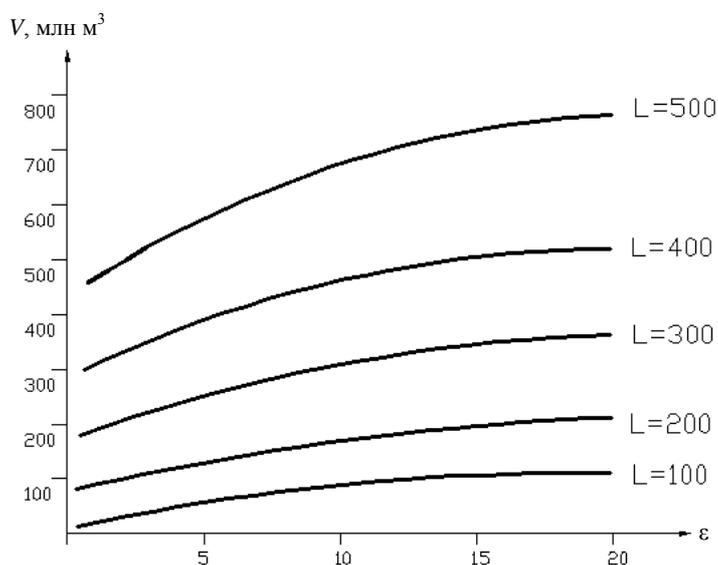


Рис. 2. График изменения текущих объемов вскрыши в зависимости от глубины карьера и эксцентриситета залежи

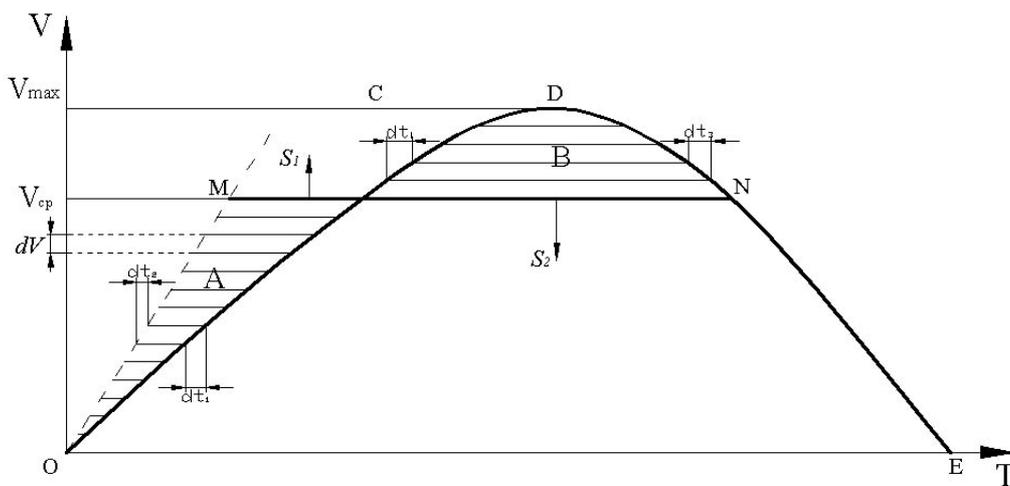


Рис. 3. График усредненных текущих объемов вскрыши: V — объем вскрышных пород; T — время работы карьера

производительность по вскрыше при ведении горных работ с разным углом рабочего борта будет достигнута на разной глубине карьера. По мере углубления эта разница будет изменяться на величину $\Delta dt_1 = dt_1 - dt_2$. Для

области B одинаковая производительность будет достигнута при ведении горных работ с одним и тем же углом рабочего борта, но на разных глубинах карьера. Нарастание разницы между этими глубинами на величину

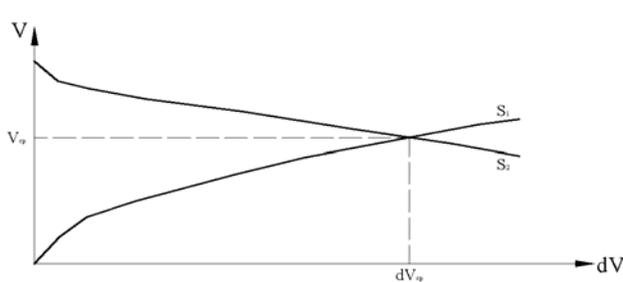


Рис. 4. График изменения объемов вскрыши в области A и B

$\Delta dt_2 = dt_1 + dt_3$ будет характеризовать увеличение объема области B по мере убывания текущих объемов вскрыши.

Если представить разделенные участки в виде трапеций, то в общем виде увеличение объемов A и B будет равно:

$$V_A = \sum \left(\frac{\Delta dt_{1j} + \Delta dt_{1j+1}}{2} \cdot dV \right),$$

$$V_B = \sum \left(\frac{\Delta dt_{1j} + \Delta dt_{1j+1}}{2} \cdot dV \right),$$

где i – количество равных участков по мере увеличения производительности, а j – то же — убывания.

В этом случае величину средней производительности можно найти, если определить такое i или j , где будет выполняться условие равенства объемов V_A и V_B .

Это можно сделать и при помощи графических построений. В системе координат на оси объемов нарастающим итогом откладывают значения объемов V_A и V_B , соответствующим на графике линиям S_1 и S_2 (рис. 4).

Ордината точки пересечения этих кривых V_{cp} и будет представлять собой искомую постоянную производительность карьера по вскрыше, которая характеризует график текущих объемов с точки зрения возможного усреднения объемов вскрыши по годам.

Показатель возможности усреднения этого коэффициента представляет собой отношение величины усредненных объемов вскрыши $K = V_{cp}/V_{max}$. Величина K зависит: от величины пиковых объемов V_{max} , от величины t – периода наступления пиковых объемов, а также от формы восходящей и нисходящей кривых графика текущих объемов.

Как показывает анализ многочисленных графиков минимальных текущих объемов вскрыши, с точки зрения трудности усреднения их можно разделить на четыре группы (см. таблицу).

Первая группа графиков (рис. 5, а) характерна для месторождений, имеющих рельеф поверхности, не согласный с падением залежи и при угле наклона рельефа, превышающим или равным максимальному углу рабочего борта карьера.

Характерными месторождениями с таким графиком являются Тырны-Аузское и Анзасское. Усреднение текущих объемы для этой группы месторождений за счет изменения ширины рабочих площадок практически невозможно.

Вторая группа графиков (рис. 5, б) также характерна для месторождений с гористым рельефом, имеющим угол наклона меньше, чем максимальный угол откоса рабочего борта. Усреднение текущих объемов для таких графиков за счет изменения ширины рабочей площадки возможно, но обеспечивает весьма небольшой (менее 7-10 лет) период работы карьера с постоянной производительностью. К такому типу относится Юго-Восточный участок Дашкесанского месторождения.

Классификация графиков минимальных текущих объемов вскрыши

№.№ пп	Группа графиков текущих объемов	Характеристика графика	Значение К
1	Весьма жесткие	Область $A \leq 0$. Восходящая ветвь графика совпадает с линией максимальной производительности. Усреднение обычными методами невозможно.	0,9—1
2	Жесткие	Область $A > 0$, но незначительно. Усреднение возможно, но период работы с постоянной производительностью невелик (≤ 7 -10 лет).	0,7—0,9
3	Мягкие	Усреднение возможно и срок работы карьера с постоянной производительностью составляет 15-20 лет.	0,5—0,7
4	Весьма мягкие	Усреднение возможно и срок работы карьера с постоянной производительностью большой (30 и более лет)	От 0,5 и менее

Третья группа графиков (рис. 5, в) характерна для большинства месторождений. При проектировании карьеров для разработки месторождений этого типа обычно принимают постоянную производительность по вскрышным породам продолжительностью 15—20 лет.

Четвертая группа месторождений (рис. 5, г) имеет графики наиболее благоприятные для усреднения текущих объемов. Месторождения такого типа встречаются довольно редко.

Чаще всего для «мягких» графиков (3 и 4 группы) существует возможность работы карьера в несколько эксплуатационных периодов (рис. 2 – пунктирные линии) продолжительностью 7—10 лет – необходимому времени для амортизации основного горно-транспортного оборудования. В определенные периоды времени возможна работа карьера с эксплуа-

тационным коэффициентом вскрыши ниже среднего.

Таким образом: для «мягких» графиков характерно возрастание производной dV/dt на восходящей и уменьшение ее на нисходящей ветвях графика (вогнутая форма кривой), а также значительный период времени до наступления пиковых объемов; «жесткие» графики характеризуются убыванием производной dV/dt на восходящей и увеличением ее на нисходящих ветвях графика (выпуклая форма кривой) и небольшим периодом времени до наступления пиковых объемов.

Классификация графиков минимальных текущих объемов вскрыши по степени их «жесткости» на четыре группы позволяет судить о возможности и методе усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши для любого проектируемого к открытой разработке месторождения. **ГИАС**

Коротко об авторе

Холодняков Д.Г. — главный специалист, кандидат технических наук, ОАО «Гипроруда», г. Санкт-Петербург, info@giproruda.spb.ru