Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXIII, вып. 1, 1972 г.

ВЗАИМОСВЯЗИ СКОРОСТЕЙ ПРИ РАЗВИТИИ ГОРНЫХ РАБОТ
(объемная задача)

Г. П. Константинов

Перемещения горных работ при развитии карьера характеризуются двумя направлениями: горизонтальным — по мере отработки рабочих уступов — и понижением горных работ — в процессе углубки карьера. Допустим, карьер имеет форму правильного конуса и нам известны координаты точек O_1, O_2, O_3, ..., O_n, определяющих направление углубки (рис. 1). Рассмотрим развитие горных работ на двух смежных горизон-

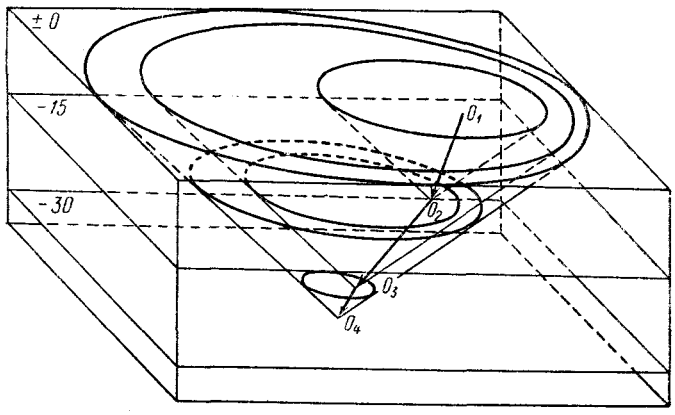


Рис. 1. Перемещение рабочей зоны карьера при углубке по линии $O_1 O_2 O_3 O_4$ (диметрическая проекция)

тах: ± 0 *м* и -15 *м*. Если угол откоса рабочего борта во всех направлениях — величина постоянная и направление углубки задано точками $O_1 O_2$, то скорости развития горных работ в пространстве образуют правильный конус с вершиной в точке O_2. Назовем его «конусом скоростей». По мере углубки карьера вершина конуса скользит по линии $O_1 O_2 O_3 \ldots O_n$ и «конус скоростей» будет занимать разные положения в карьерном пространстве. Предположим, что направление углубки определяется точками O_1 и O_2. Тогда горизонтальная скорость продвижения рабочих уступов в разных направлениях будет иметь разную величину, т. е. вершина вектора l_p (рис. 2) будет скользить по окружности основания «конуса скоростей».

Чтобы выявить взаимосвязь между горизонтальной скоростью l_p продвигания рабочих уступов во всех направлениях и скоростью опус-

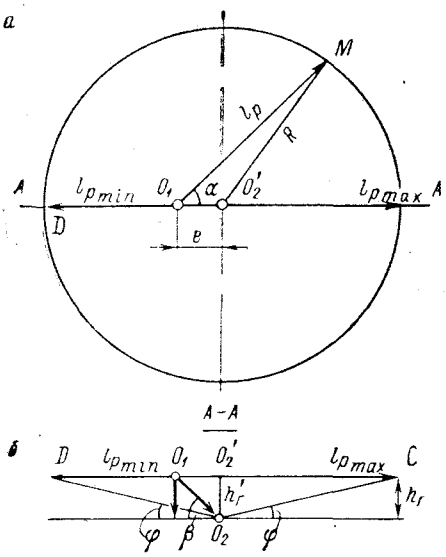


Рис. 2. Взаимосвязи скоростей развития горных работ в пространстве: *а* и *б* — «конус скоростей» в плане и разрезе

кания горных работ $h_г$ в зависимости от угла поворота α вектора $l_р$ от своего максимального положения, рассмотрим «конус скоростей» в плане и в разрезе. Фиксируем положение вектора $l_р$ в точке M. Тогда из рис. 2 *а* и *б* видно, что $O_1C = l_{p_{max}}$; $O_1D = l_{p_{min}}$; $O_1O_2' = e$; $O_1O_2 = h_г'$; $O_2'C = O_2'M = O_2'D = R$; $\alpha = (\overset{\frown}{l_{p_{max}}, l_р})$.

Выразим геометрически введенные понятия:

$$e = h_г \operatorname{ctg} \beta; \quad (1)$$

$$e = h'_г \cos \beta, \quad (2)$$

но

$$h_г = h'_г \sin \beta,$$

следовательно,

$$R = h_г \operatorname{ctg} \varphi = h'_г \sin \beta \operatorname{ctg} \varphi; \quad (3)$$

$$\operatorname{ctg} \varphi = \frac{O_2'C}{h_г} = \frac{R}{h_г}.$$

По теореме косинусов и из треугольника $O_1O_2'M$

$$R^2 = e^2 + l_р^2 - 2l_р e \cos \alpha,$$

или

$$l_р^2 - 2e \cos \alpha \, l_р - (R^2 - e^2) = 0.$$

Решаем уравнение относительно $l_р$

$$l_р = e \cos \alpha + \sqrt{e^2 \cos^2 \alpha + (R^2 - e^2)}. \quad (4)$$

Преобразовав выражение под корнем, получим

$$e^2 \cos^2 \alpha + (R^2 - e^2) = e^2 (\cos^2 \alpha - 1) + R^2 = e^2(\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha - \cos^2 \alpha) + R^2 = R^2 - e^2 \sin^2 \alpha.$$

Тогда уравнение (4) примет вид

$$l_р = e \cos \alpha + \sqrt{R^2 - e^2 \sin^2 \alpha}. \quad (4а)$$

Но из формул (1) и (3)

$$e = h_г \operatorname{ctg} \beta \quad \text{и} \quad R = h_г \operatorname{ctg} \varphi.$$

Подставив вместо e и R их значения в формулу (4а), получим окончательно

$$l_р = h_г (\operatorname{ctg} \beta \cos \alpha + \sqrt{\operatorname{ctg}^2 \varphi - \operatorname{ctg}^2 \beta \sin^2 \alpha}), \quad (5)$$

где $l_р$ — горизонтальная скорость продвижения уступов, *м/год*; $h_г$ — вертикальная скорость опускания горных работ, *м/год*; $\alpha = (\overset{\frown}{l_{p_{max}}, l_р})$ — угол между максимальной и искомой скоростями горизонтального продвижения рабочих уступов, *град*; β — угол углубки карьера в плоскости $l_{p_{max}}$ и $l_{p_{min}}$, *град*; φ — угол откоса рабочего борта, *град*.

Из формулы (5)

$$h_г = \frac{l_р}{\operatorname{ctg} \beta \cos \alpha + \sqrt{\operatorname{ctg}^2 \varphi - \operatorname{ctg}^2 \beta \sin^2 \alpha}}. \quad (6)$$

Если $l_p = l_{p_{max}}$, т. е. $\alpha = 0°$, то

$$h_г = \frac{l_{p_{max}}}{\operatorname{ctg}\beta + \operatorname{ctg}\varphi}, \tag{7}$$

если $l_p = l_{p_{min}}$, т. е. $\alpha = 180°$, то

$$h_г = \frac{l_{p_{min}}}{\operatorname{ctg}\varphi - \operatorname{ctg}\beta}, \tag{8}$$

т. е. получаем формулы А. И. Арсентьева, показывающие геометрическую взаимосвязь между скоростями $h_г$ и l_p на поперечном разрезе.

Если $\beta = 90°$, из формулы (5)

$$l_p = h_г \operatorname{ctg}\varphi, \tag{9}$$

т. е. если углубка ведется вертикально, значения для l_p во всех направлениях будут одинаковыми.

Если $\beta = \varphi$, из формулы (5) получаем

$$l_p = 2h_г \operatorname{ctg}\varphi \cos\alpha. \tag{10}$$

В этом случае

$$l_{p_{max}} = 2h_г \operatorname{ctg}\varphi.$$

Обозначим в формуле (5)

$$\operatorname{ctg}\beta\cos\alpha + \sqrt{\operatorname{ctg}^2\varphi - \operatorname{ctg}^2\beta\sin^2\alpha} = k;$$

тогда

$$k = \frac{l_p}{h_г}. \tag{11}$$

Если $\varphi = 15° = \text{const}$, а значения для α и β будем изменять через 15° соответственно от 0 до 180° и от 0 до 90°, тогда все полученные значения для k можно свести в график (рис. 3).

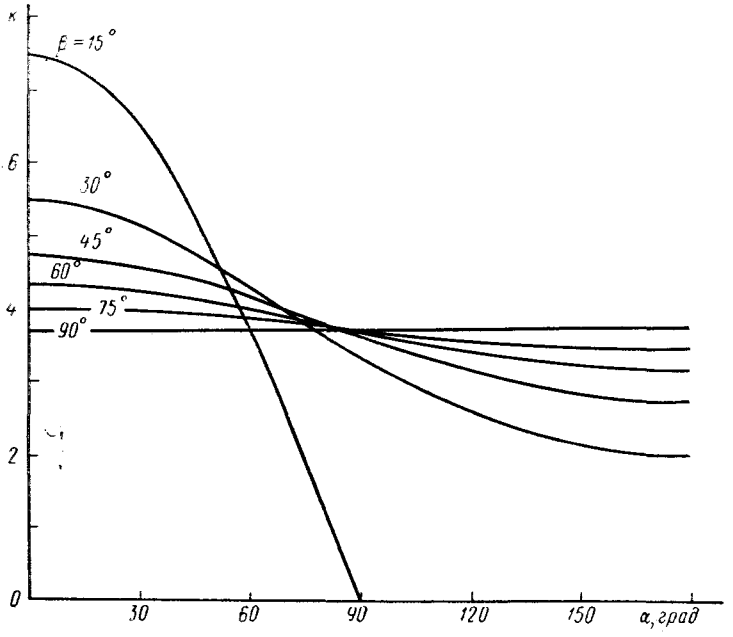


Рис. 3. График $K = f(\alpha)$ при различных значениях угла β

Посмотрим, как меняется длина фронта горных работ $L_ф$ по мере углубки карьера. На горизонте ± 0 *м* (см. рис. 1)

$$L_{ф_0} = 2\pi R.$$

Из рис. 1 видно, что $R = H \operatorname{ctg} \varphi$, где H — глубина карьера. Тогда

$$L_{ф_0} = 2\pi H \operatorname{ctg} \varphi. \tag{12}$$

Если H — глубина карьера, а h — высота уступа, то на основании рис. 1 и уравнения (12)

$$\text{при } H = h \qquad L_{ф_1} = 2\pi h \operatorname{ctg} \varphi,$$

$$\text{при } H = 2h \qquad L_{ф_2} = 2\pi h \operatorname{ctg} \varphi + 2\pi 2h \operatorname{ctg} \varphi,$$

$$\text{при } H = 3h \qquad L_{ф_3} = 2\pi h \operatorname{ctg} \varphi + 2\pi 2h \operatorname{ctg} \varphi + 2\pi 3h \operatorname{ctg} \varphi,$$

. . . . . .

$$\text{при } H = nh \quad L_ф = 2\pi h \operatorname{ctg} \varphi + 2\pi 2h \operatorname{ctg} \varphi + 2\pi 3h \operatorname{ctg} \varphi + \cdots +$$

$$+ 2\pi (n-1)\, h \operatorname{ctg} \varphi + 2\pi nh \operatorname{ctg} \varphi = 2\pi h \operatorname{ctg} \varphi \frac{1}{2} n\,(n+1).$$

Следовательно, общий фронт работ в карьере (до момента выхода рабочей зоны на конечные контуры карьера)

$$L_ф = \pi h \operatorname{ctg} \varphi\, n(n+1), \tag{13}$$

где n — число рабочих уступов.