

ABSTRACT

Purpose. To improve open pits planning and designing methods applicable to determination of open pits performance by ore in case of stripping steep deposits that provides for variable direction of sinking, that would take into account different intensity of mining at particular sites of the open pit working area, as well as co-relation of development system parameters that ensure the basic stock of ore in the open pit.

Methodology. The methodology of determination the open pit performance by ore is based on the idea: open pit performance by ore is to be determined with regard to intensity of mining at particular sites of the open pit working area that meets the requirements of the established procedure for bench development with respect to the pattern of mining operations. At that it is necessary to take into account the co-relation of development system parameters that ensure the basic stock of ore in the open pit, as well as the length of active mining operations front during the preparation period of each level under development.

Results. The methodology for determination of open pit performance by ore for various methods of mining operations with regard to the order and intensity of mining at particular sites of the open pit working area has been developed.

Scientific novelty. The methodology proposed for determination of an open pit performance by ore makes possible to take into account the co-relation of development system parameters that ensure the basic stock of ore in the open pit, as well as the length of active mining operations front during the preparation period of each level under development.

Practical significance. The results of the performed studies can be used by design organizations and mining enterprises when determining performance of the open pit by ore.

Keywords: *width of the work site, length of mining operations front, open pit performance, reserves ready to be removed*

УДК 622.271

© Н.В. Несвитайло

УТОЧНЕНИЕ МЕТОДИКИ УСТАНОВЛЕНИЯ СРЕДНЕГО КОЭФФИЦИЕНТА ВСКРЫШИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОНЕЧНЫХ КОНТУРОВ КАРЬЕРА

© N. Nesvitaylo

CLARIFICATION OF METHODOLOGY FOR DETERMINATION OF AVERAGE STRIPPING RATIO WHEN DETERMINING THE FINAL PIT

Рассмотрена необходимость уточнения и дальнейшего развития методологических подходов к определению конечных контуров глубоких карьеров. Выполнены исследования по установлению влияния на величину среднего коэффициента вскрыши формы и размеров карьерного поля при решении плоской и пространственной задач, с целью получения наиболее точных конечных контуров карьера.

Розглянуто необхідність уточнення і подальшого розвитку методологічних підходів до визначення кінцевих контурів глибоких кар'єрів. Виконані дослідження по встановленню впливу на величину середнього коефіцієнта розкриву форми і розмірів кар'єрного поля при вирішенні плоскої і просторової задач, з метою отримання найбільш достовірних кінцевих контурів кар'єру.

Введение. В теории и практике открытых горных работ одной из основных проблем, которая возникает уже на стадии проектирования, является проблема установления конечных границ карьеров, разрабатывающих крутопадающие месторождения. Как показывает анализ научно-исследовательских работ в этой области, а также практика проектирования карьеров, значительное большинство исследований посвящено решению данной задачи с использованием профильных разрезов месторождения, т.е. решается задача в плоскости, так называемая “плоская задача”. Сравнительно мало работ посвящено решению пространственной (объемной) задачи. Поэтому возникает необходимость в уточнении и дальнейшем развитии методологических подходов к определению конечной глубины карьера и, в частности, при определении среднего коэффициента вскрыши для условий открытой разработки штокообразных залежей, когда используется принцип сравнения среднего коэффициента вскрыши с граничным, т.е. $K_{cp} \leq K_{gp}$. Этот методологический подход приемлем при определении конечной глубины карьеров, разрабатывающих залежи высокоценного полезного ископаемого, простирающегося на относительно небольшую глубину (до 600-700 м), когда месторождение может быть полностью отработано одним из двух способов: открытым или подземным.

Изложение основного материала. Основные исходные положения при решении пространственной задачи определения конечной глубины карьера: форма карьера в плане принимается первоначально прямоугольной; при сложной форме карьерного поля оно разбивается на отдельные участки; объемы вскрышных пород и полезного ископаемого определяются или аналитически (при простой форме карьерного поля), или на погоризонтных планах (при сложной форме залегания месторождения); метод решения задачи – графоаналитический.

Следует отметить, что никто из авторов многочисленных исследований не дает рекомендаций в каких случаях следует решать задачу как плоскую, а в каких – пространственную, хотя, безусловно, при решении пространственной задачи подразумевалась более высокая точность получаемых результатов. Так, например, в работах [1,2] отмечается, что “при определении глубины коротких и глубоких карьеров с отношением длины к глубине $L/H_k < 4$ пользоваться поперечными разрезами не рекомендуется“. Ниже приводятся исследования по установлению влияния на величину среднего коэффициента вскрыши формы и размеров карьерного поля при решении плоской и пространственной задач.

В первом случае средний коэффициент вскрыши определяется исходя из профильного разреза (рис. 1) по формуле

$$K_{cp}^s = \frac{0,5H_k^2 (\operatorname{ctg}\beta_в + \operatorname{ctg}\beta_л)}{M_z \cdot H_k} = \frac{H_{cp} \cdot \operatorname{ctg}\beta_{cp}}{M_z}, \quad (1)$$

где H_k – конечная глубина карьера, м; β_{cp} – средний угол откоса нерабочих бортов карьера, град; M_z – горизонтальная мощность залежи, м; $\beta_в$ и $\beta_л$ соответственно углы откоса нерабочих бортов со стороны висячего и лежачего боков залежи.

В формуле (1) мощность наносов H_n не учитывалась, а величина M_z принималась равной $B_д$.

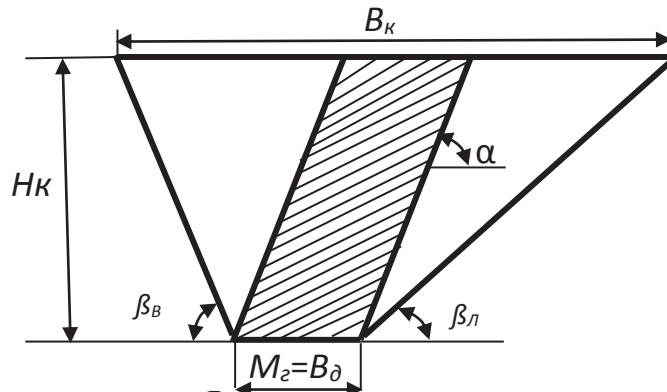


Рис. 1. Профильный разрез карьера: B_k – ширина карьера по поверхности, м; $B_д$ – ширина дна карьера, м; α – угол падения залежи, град.

Средний коэффициент вскрыши при решении объемной задачи определен по следующему выражению (рис. 2).

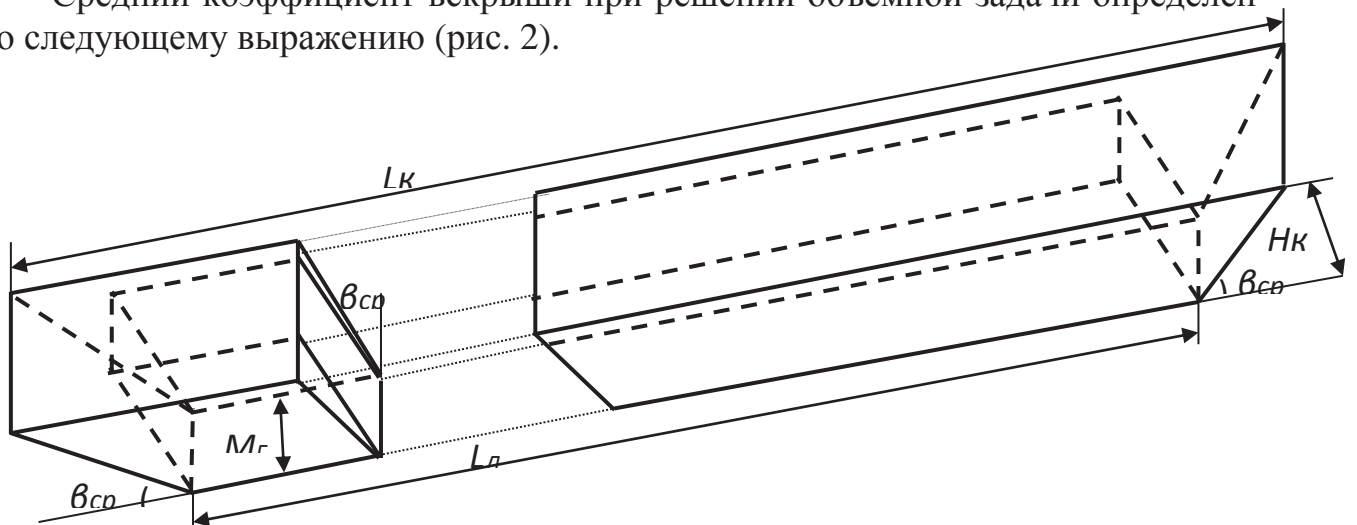


Рис. 2. Общий вид карьера в трехмерном пространстве

$$K_{cp}^v = \frac{V_{г.м} - V_{п.и}}{V_{п.и}} = \frac{S_д \cdot H_k + \frac{1}{2} P_д \cdot H_k^2 \cdot \operatorname{ctg}\beta_{cp} + \frac{\pi}{3} H_k^3 \cdot \operatorname{ctg}\beta_{cp} - S_д \cdot H_k}{S_д \cdot H_k}, \quad (2)$$

где $V_{г.м}$ и $V_{п.и}$ – соответственно объемы горной массы и полезного ископаемого, извлекаемых из карьера глубиной H_k , м³; $S_д$ и $P_д$ – соответственно площадь и периметр дна карьера, м².

С учетом того, что

$$S_д = B_д \cdot L_д; P_д = 2(B_д + L_д),$$

$$K_{cp}^V = \frac{B_{\partial} \cdot L_{\kappa} \cdot H_{\kappa} + \frac{1}{2} \cdot 2(B_{\partial} \cdot L_{\partial}) \cdot H_{\kappa}^2 \cdot ctg \beta_{cp} + \frac{\pi}{3} H_{\kappa}^3 \cdot ctg^2 \beta_{cp} - B_{\partial} \cdot L_{\kappa} \cdot H_{\kappa}}{B_{\partial} \cdot L_{\kappa} \cdot H_{\kappa}} =$$

$$= \frac{(B_{\partial} + L_{\partial}) \cdot H_{\kappa} \cdot ctg \beta_{cp} + \frac{\pi}{3} H_{\kappa}^2 \cdot ctg^2 \beta_{cp}}{B_{\partial} \cdot L_{\partial}} \quad (3)$$

где L_{∂} – длина дна карьера, соответствующая длине залежи по простиранию, м.

При выводе формулы (3) объем наосов мощностью H_n , залегающих над пластом, т.е. $V_n = H_n \cdot M_2 \cdot L_{\kappa}$ не учитывался как и при решении плоской задачи.

По выше приведенным формулам (1) и (3) выполнены расчеты для следующих исходных условий:

1. Форма карьерного ноля прямоугольная (при соотношении $\frac{L_{\partial}}{B_{\partial}} = 1$ – квадратная).
2. Ширина дна карьера (B_{∂}) принята равной горизонтальной мощности залежи (M_2).
3. Соотношение $\frac{L_{\partial}}{B_{\partial}}$ изменяется в диапазоне от 1 до 40.
4. Конечная глубина карьера (H_{κ}); горизонтальная мощность залежи (M_2) и угол откоса нерабочих бортов карьера β_{cp} приняты постоянными величинами и равными соответственно: 300 м; 200 м и 45° .

Результаты выполненных расчетов для конкретных условий представлены в табл. 1 и на рис. 3, из которых видно, что средний коэффициент вскрыши, установленный исходя из объемов горной массы в заданных контурах карьера, изменяется в зависимости от длины залежи (криволинейная зависимость). При этом величина K_{cp}^V для небольших по длине залежей ($L_{\partial}/B_{\partial} = 1 \dots 2$), какими являются штокообразные, значительно превышает (в 2...2,5 раза) величину K_{cp}^S , определенную исходя из решения плоской задачи, т.е. по профильному разрезу. Погрешность Δ решения плоской задачи при этом составляет 100...250%.

Таблица 1

Результаты расчетов коэффициентов вскрыши K_{cp}^S и K_{cp}^V

Показатель	Длина залежи по простиранию, L_{∂} , м							
	200	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
K_{cp}^S	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
K_{cp}^V	5,3	3,0	2,3	1,9	1,8	1,7	1,6	1,53
K_{cp}^V / K_{cp}^S	3,53	2,0	1,53	1,27	1,2	1,13	1,07	1,02
$L_{\partial} / B_{\partial}$	1,0	2,5	5,0	10	15	20	30	40
L_{κ} / B_{κ}	1,0	1,4	2,0	3,3	4,5	5,8	8,25	10
Δ , %	250	100	53	27	20	13	7,0	2,0

Следует отметить, что для залежей большой длины ($L_d/B_d > 10$) погрешность определения K_{cp}^S относительно небольшая и составляет 2...20%, т.е. для значительно вытянутых по простиранию крутопадающих месторождений (>7000-8000 м) определение коэффициентов вскрыши может производиться по профильным геологическим разрезам карьерного поля.

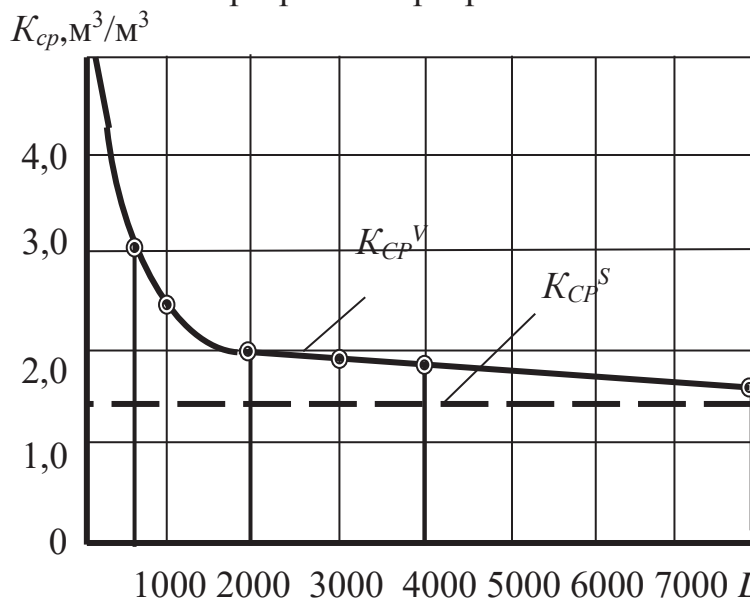


Рис. 3. Графики зависимости $K_{cp}^S = f_1(L_d)$ и $K_{cp}^V = f_2(L_d)$

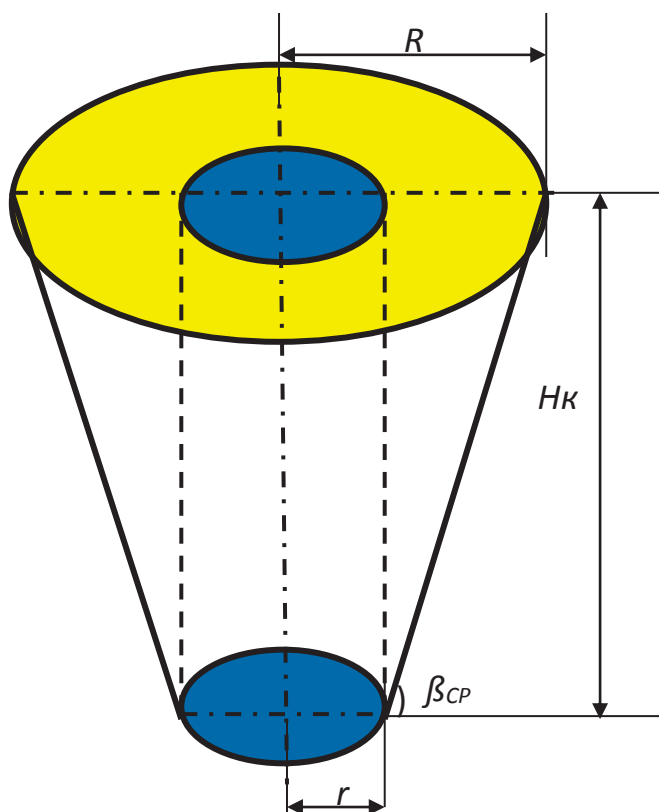


Рис. 4. Принципиальная схема карьерного поля при разработке штокообразной залежи

Рассмотрим возможность применения формулы (1) при определении среднего коэффициента вскрыши для линзо – или штокообразных месторождений (см. рис. 4). В качестве исходных данных для примера расчета приняты: $M_c = 100$ м, $\beta_{cp} = 35^\circ$, $H_k = 300$ м. Величина K_{cp}^S , определенная по формуле (1), (плоская задача) в этом случае составляет $4,26 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Средний коэффициент вскрыши K_{cp}^V при решении объемной задачи для штокообразных залежей определяется по формуле

$$K_{cp}^V = \frac{V_{zm} - V_{nu}}{V_{nu}}, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (4)$$

где V_{zm} – объем горной массы в пределах контуров карьера, м^3 .

$$V_{zm} = \frac{\pi}{3} H_k (R^2 + r^2 + R \cdot r) \text{ м}^3, \quad (5)$$

где R , r – соответственно радиусы карьера по поверхности и по дну, м;

Объем полезного ископаемого в пределах контуров карьера, м^3

$$V_{nu} = \pi r^2 \cdot H_k, \text{ м}^3. \quad (6)$$

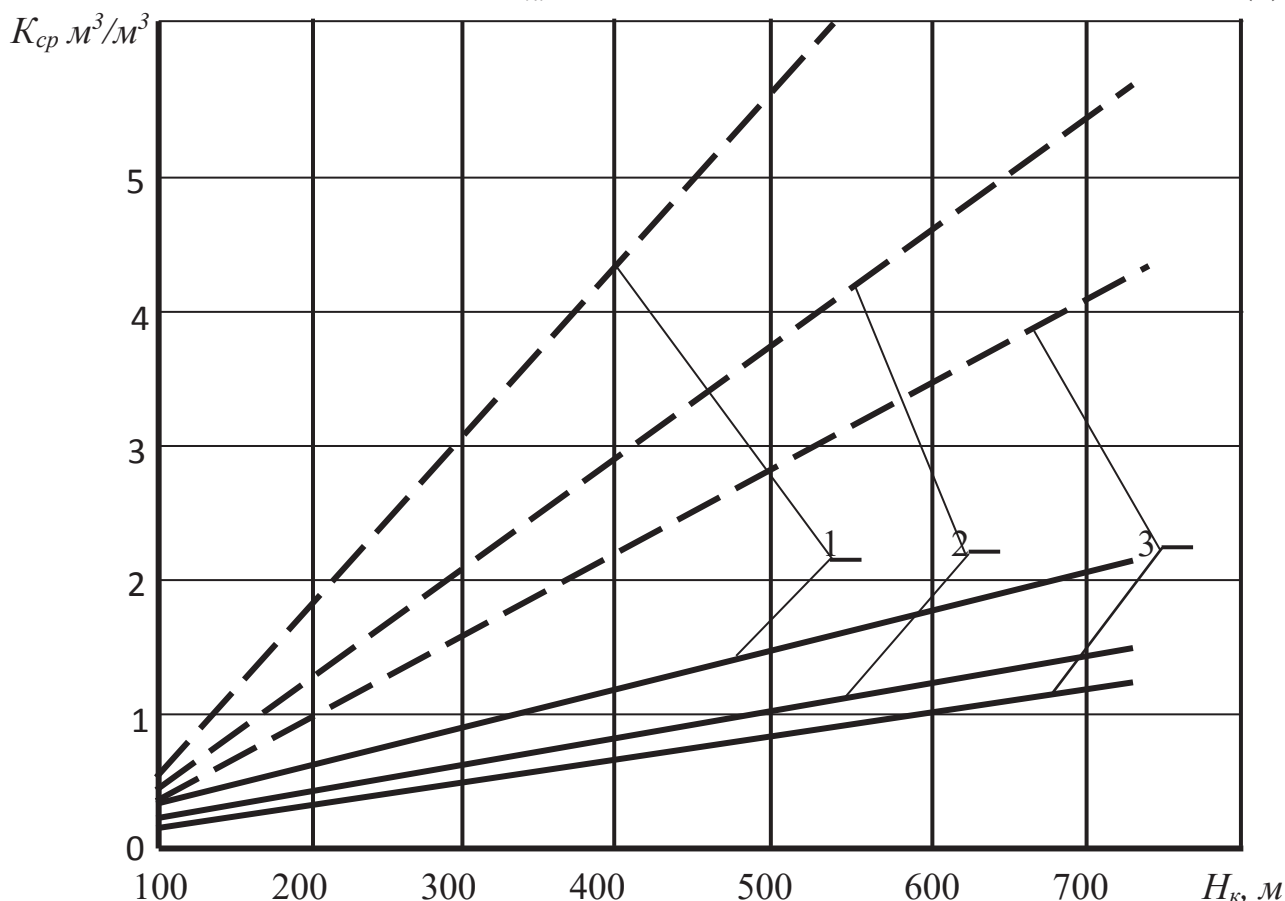


Рис. 5. График зависимостей K_{cp}^V (штриховая линия) и K_{cp}^S (сплошная линия) от конечной глубины карьера: 1, 2, и 3 – соответственно $Mг=500, 700$ и 900 м.

Подставив выражения (2.12) и (2.13) в (2.11), получим

$$K_{cp}^V = \frac{R^2 + R \cdot r - 2r^2}{3 \cdot r^2}, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (7)$$

В качестве примера для горногеологических условий залегания кимберлитовой трубки «Катока» выполнены расчеты по установлению зависимости коэффициентов вскрыши K_{cp}^S и K_{cp}^V от конечной глубины карьера H_k . Результаты расчетов по формулам (1) и (7) представлены на рис. 5, из которого видно, что погрешность между K_{cp}^V и K_{cp}^S значительная и составляет в среднем 300% при $M_c=500-900$ м и $H_k=500$ м. Причиной расхождения результатов решения "плоской и объемной" задач по определению среднего коэффициента вскрыши является то, что в первом случае не учитывается объемы вскрышных пород торцов карьера, удельный вес которых с уменьшением соотношения L_d/B_d увеличивается, а при $L_d/B_d=1-2$ формула (1) дает значительную погрешность 250-150% (см. табл.1). Соотношение $L_d/B_d=1$ соответствует округлой форме карьерного поля как и при штокообразных и линзообразных месторождениях. Поэтому при определении конечной глубины карьера по принципу $K_{cp} \leq K_{cp}$ это надо учитывать, а при определении среднего коэффициента вскрыши на подобных месторождениях необходимо однозначно решать пространственную задачу с целью получения наиболее точных конечных контуров карьера.

Более того, при уменьшении горизонтальной мощности залежи, например от 900 м до 500 м величина погрешности между K_{cp}^V и K_{cp}^S соответственно составляет 150% и 430%, т.е. увеличивается (рис.6). Как видно из представленных на рис. 5 графиков, с увеличением конечной глубины карьера разница между K_{cp}^V и K_{cp}^S соответственно 5,5 и 1,7 м³/м³ при глубине карьера 500 м.

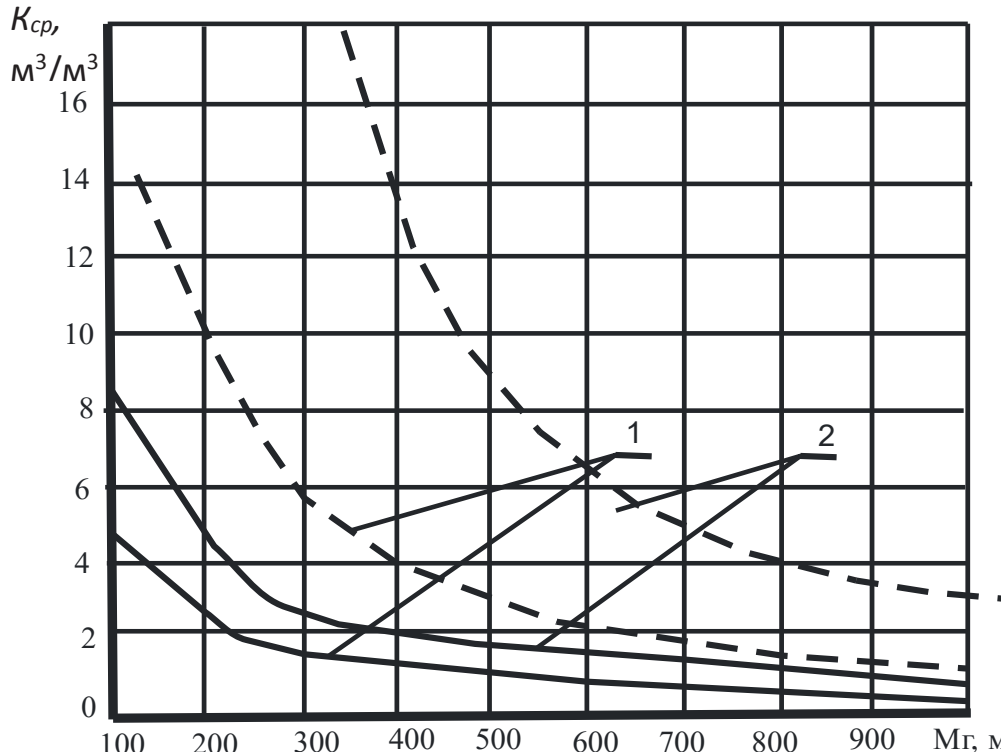


Рис. 6. Графики зависимости K_{cp}^V (штриховая линия) и K_{cp}^S (сплошная линия) от горизонтальной мощности залежи: 1 и 2 соответственно при $H_k = 300$ и 600 м.

Выводы. Уточнена методика определения среднего коэффициента вскрыши (K_{cp}) от применительно к месторождениям, вытянутым по простиранию, а также для штокообразных. Величина среднего коэффициента вскрыши при решении плоской (по геологическим разрезам – K_{cp}^S) и пространственной задач (по объемам горной массы – K_{cp}^V) существенно отличаются. Так для относительно небольшой залежи ($L_\delta/B_\delta = 1...2$) величина среднего коэффициента вскрыши, исходя из решения пространственной задачи, в 2...3,5 раза больше по сравнению с величиной коэффициента вскрыши, определенной по поперечному разрезу (плоская задача) т.е. погрешность составляет 100...250%. Для залежей большой длины по простиранию ($L_\delta/B_\delta > 10$) погрешность составляет 2...20%. Погрешность между K_{cp}^V и K_{cp}^S для штоко- и линзобразных залежей составляет в среднем 300%. Поэтому при определении среднего коэффициента вскрыши на подобных месторождениях необходимо однозначно решать пространственную задачу с целью получения наиболее точных конечных контуров карьера.

Перечень ссылок

1. Полищук А.К. Определение граничного коэффициента вскрыши с учетом полноты выемки и степени разубоживания железных руд / А.К. Полищук //Тр. КГРН. – М.: Недра, 1964. – Вып. 22. – С. 31 – 45.
2. Арсентьев А.И. Развитие методов определения границ карьеров / А.И. Арсентьев, А.К. Полищук // – Л.: Наука, 1967. – 94 с.

ABSTRACT

Purpose. Clarification of the methodology for determining the average Stripping ratio in open development steeply dipping deposits.

The methodology of the study was to establish the impact on the average Stripping ratio of the shape and dimensions of career fields in the solution of planar and spatial tasks.

Findings. Consider the need for clarification and further development of methodological approaches to determining the final contours of deep pits. In the theory and practice of open cast mining one of the main problems that arises already at the design stage is the issue of establishing final borders of the pits that develop steeply dipping deposits. As the analysis of research works in this area, and the practice of design quarry, a large majority of the studies devoted to solving this problem using the relevant sections of the field, i.e. to solve the problem in the plane, the so-called “flat”. Relatively few works devoted to the solution of spatial (volume) problem. Therefore there is a need to clarify and further development of methodological approaches to the determination of the final depth of the quarry and, in particular, when determining the average Stripping ratio for an open development stolarskich deposits when you use the principle of comparison of the average Stripping ratio with the boundary, i.e., $K_{SR} \leq K_{GR}$.

Conclusions. When determining the average stripping ratio for steeply dipping fields needed to uniquely solve a spatial task with the aim of obtaining the most accurate end quarries.

The originality lies in the development of a method to determine the average Stripping ratio, which in contrast to the known, takes into account the ratio of length and width of the quarry along the bottom, and geometric shape of the reservoir, which allows more accurate to determine the final depth of the quarry.

Keywords: *open pit mining, stage design, the final borders of quarries, stripping ratio, profile sections.*