

© Н.В. Несвитайло<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный технический университет «Днепровская политехника», Днепр, Украина

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ С УВЕЛИЧЕНИЕМ ГЛУБИНЫ КАРЬЕРА «КАТОКА»

© N. Nesvitaylo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## THE DEFINITION OF RATIONAL DIRECTION OF MINING DEVELOPMENT WITH INCREASING OPEN PIT DEPTH "КАТОКА"

**Цель.** Разработать рекомендации по выбору рационального направления развития горных работ с увеличением глубины карьера.

**Методы исследования.** Для достижения поставленной цели в работе использован графо-аналитический метод, в основу которого положена концепция использования в качестве критерия оптимальности минимального среднего с начала разработки коэффициента вскрыши (или максимального коэффициента добычи), который определяется путем построения изолиний полезного ископаемого в пределах текущего контура карьера.

**Результаты исследования.** На основе графо-аналитического метода было установлено рациональное направление развития горных работ, обеспечивающее соблюдение принципа "минимум среднеэксплуатационного коэффициента вскрыши" в течение всего периода эксплуатации карьера. При разработке ценных алмазоносных руд большое влияние на экономические показатели работы оказывает колебание качества руды по мере отработки карьера, обусловленное направлением развития горных работ. Рассматриваемое месторождение трубки "«Каток»" характеризуется тем, что оно состоит из нескольких блоков полезного ископаемого, в каждом из которых содержатся и могут быть извлечены полезные компоненты различной ценности. На основе того же метода было определено направление углубки, соответствующее критерию "максимум среднего содержания алмазов". Обе полученные линии оптимального направления углубки оказались идентичными.

**Научная новизна.** После проведения построений и расчетов в программе "Datamine" был получен график  $V=f(P)$  на котором линия  $\varphi=0$  соответствовала минимальному углу рабочего борта, а  $\varphi_{\max}$  максимально возможному углу рабочего борта при условии понижения горных работ по оптимальному направлению углубки. График  $V=f(P)$  позволил определить область регулирования режима горных работ. В искомой области регулирования построена линия ABCD, которая соответствует работе карьера со стабильным среднеэксплуатационным коэффициентом вскрыши большую часть периода отработки карьера. На основе линии ABCD разработан календарный график отработки месторождения. Некоторые отклонения полученной проектной линии от оптимальной ABCD объясняются сложностью горнотехнической обстановки и необходимостью подготовки норматива готовых к выемке запасов.

**Практическое значение.** С учетом обеспечения минимального среднего с начала разработки коэффициента вскрыши, а также изменения качества полезного ископаемого, рациональное направление углубки карьера на первом этапе его разработки (до 150 м) принимать с запада на восток. При дальнейшем развитии горных работ до глубины 450-500 м направление углубки должно быть на западном крыле карьерного поля.

**Ключевые слова:** открытая разработка, алмазы, глубина карьера, горная масса, коэффициент вскрыши.

**Введение.** При увеличении глубины карьера «Катока» и переходе на циклично-поточную технологию разработки (ЦПТ) в большинстве случаев необходимо формировать две рабочие зоны. В первой (основной) зоне развитие горных работ должно обеспечивать выполнение производственного плана, а во второй (вспомогательной) должно формироваться рабочее пространство для сооружения конвейерного подъемника с перегрузочными пунктами для комбинированного транспорта.

Перевод на новую технологию на вскрышных работах приводит к резкому сокращению расстояний транспортирования автотранспортом и вследствие этого к уменьшению транспортных расходов, что весьма ощутимо при больших годовых объемах вскрыши. Поэтому даже небольшое уменьшение расстояний транспортирования при значительных объемах перевозок приводит к существенному сокращению транспортных затрат на вскрышу. В свою очередь величина расстояния транспортирования зависит от направления углубки карьера при разработке его глубоких горизонтов.

**Цель работы.** Определение оптимального направления развития горных работ с увеличением глубины для конкретных горно-геологических условий карьера «Катока».

**Изложение основного материала.** Для определения оптимального направления углубки карьера «Катока» использован графо-аналитический метод. В основу данного метода положена концепция использования в качестве критерия оптимальности минимального среднего с начала разработки коэффициента вскрыши (или максимального коэффициента добычи), который определяется путем построения изолиний полезного ископаемого в пределах текущего контура карьера. Изолиния полезного ископаемого – это линия на поперечном сечении месторождения, соединяющая точки одинаковых объемов руды. Следовательно, отстроенный в любой точке изолинии текущий контур карьера всегда будет ограничивать одинаковое количество полезного ископаемого.

Последовательность практической реализации метода:

Отстраиваются вертикальные разрезы карьерного поля на момент окончания горных работ. На рисунке 1 показаны линии рассматриваемых разрезов.

В соответствии с принятой системой разработки и вскрытия месторождения, технологии и механизации работ устанавливаются углы откосов рабочих бортов карьера. В соответствии с этим определяется "трафарет" рабочей зоны.

По каждому разрезу наносится серия секущих горизонтальных плоскостей 1-4 и вертикальных а-г, кроме того, рассматриваются направления углубки по нерабочим бортам карьера – направления х и у. На рисунке 2 приведена схема к определению рационального направления углубки горных работ.

По каждому разрезу определяются нарастающие площади полезного ископаемого путем перемещения "трафарета" рабочей зоны карьера по точкам пересечения намеченных секущих плоскостей. В таблице 1 сведены результаты выполненных замеров по каждой линии вертикальных разрезов.

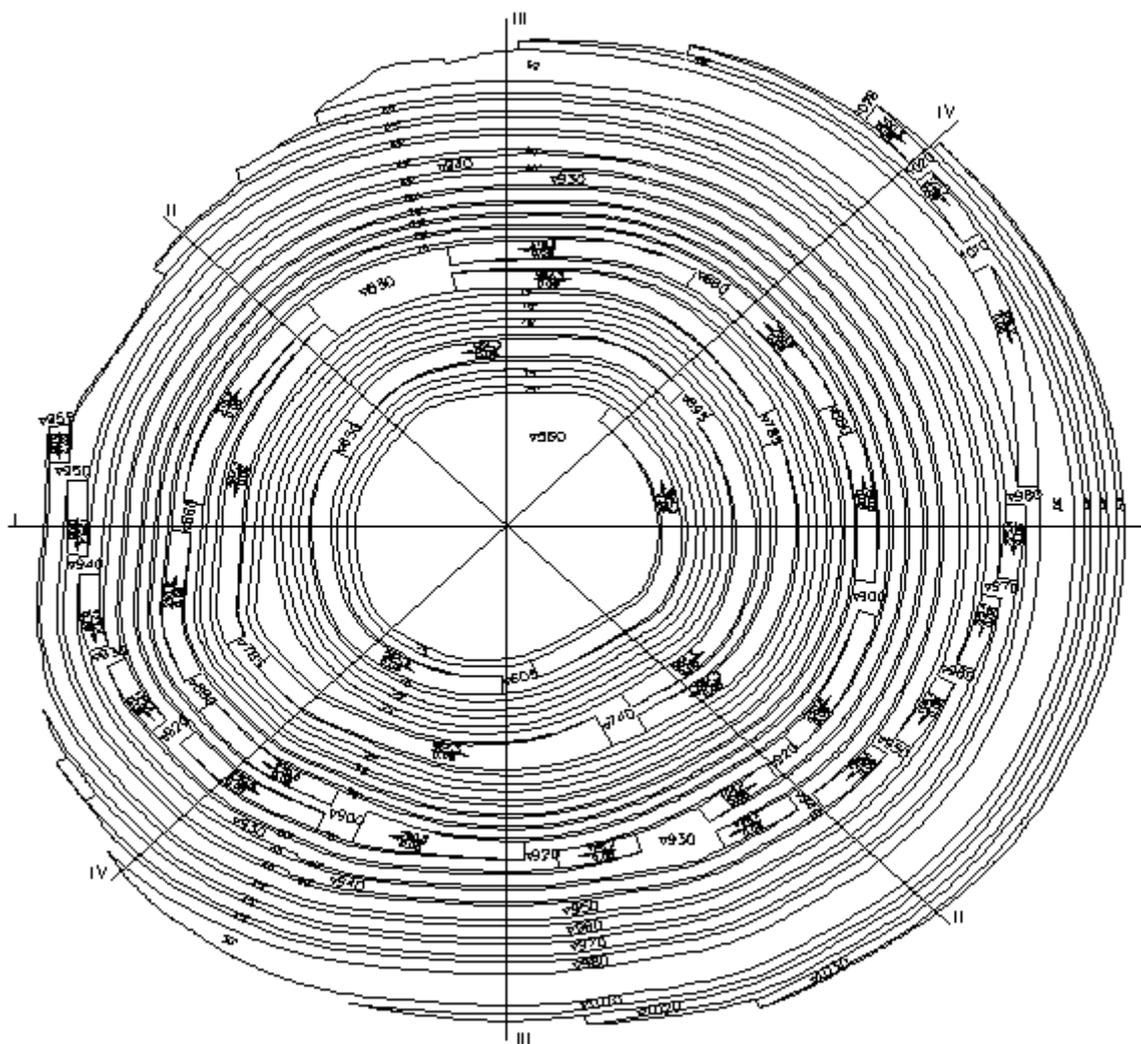


Рис. 1. Расположение линий вертикальных разрезов в карьерном поле

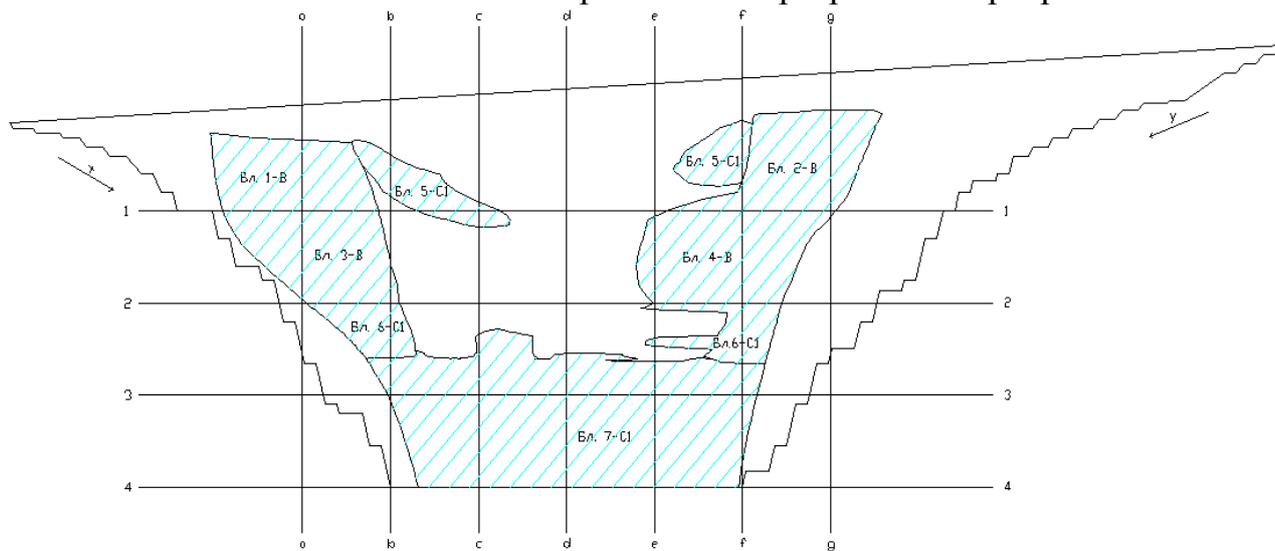


Рис. 2. Типичный разрез карьерного поля для определения направления углубки карьера

Таблица 1

Изменение площадей руды при углубке карьера по различным направлениям

Этапы глубины	Направление углубки карьера								
	x	a	b	c	d	e	f	g	y
Разрез по линии I-I									
1	7,9	14,8	13,6	7,3	7,3	14,4	19,3	17,8	9,8
2	43,2	46,1	52	54,8	56,6	56,5	49,4	36,4	32,4
3	82,5	-	89,5	97,5	98,9	94,5	85	79,3	79,3
4	161	-	161	161	161	161	161	161	161
Разрез по линии II-II									
1	7,9	14,1	11,4	6,2	9,1	15	18,4	19,9	13,1
2	43,7	43,7	51,6	50,7	50,4	50,2	46,4	36,9	32,2
3	78,2	-	86,4	94,6	98,1	95,1	87,1	-	76,4
4	160,5	-	160,5	160,5	160,5	160,5	160,5	-	160,5
Разрез по линии III-III									
1	11,8	19	17,4	10,6	9,6	14,8	18,7	18,4	10,2
2	43,8	43,8	55	55,4	53,9	52,6	49,4	40,8	34,8
3	83	-	-	94,4	96,8	94,6	86,8	-	78
4	164,5	-	-	164,5	164,5	164,5	164,5	-	164,5
Разрез по линии IV-IV									
1	9,4	12,9	12	6	6,2	11,4	15,3	15,5	8,3
2	29,1	29,1	41,7	44,8	44,8	46,5	43,6	37,4	37,4
3	64,1	-	68,4	79,1	83,4	86,4	80,2	-	73
4	150,9	-	150,9	150,9	150,9	150,9	150,9	-	150,9

На основе таблицы 1 для каждого направления развития работ строится вспомогательный график  $P=f(H)$  изменения показателей полезного ископаемого в зависимости от глубины работ. Общий объем руды в контурах карьера делится на интервалы и в соответствии с ними на вспомогательном графике проводятся горизонтальные линии  $P_i$ . Точки пересечения этих горизонталей с линиями  $P=f(H)$  дают глубину, на которой добывается заданный объем руды. Так на рисунке 3 для направления углубки по вертикальной линии  $b$  разреза I-I получают абсциссы точек пересечения  $b_1$ - $b_8$ . Данные точки переносятся на разрезы. Такое построение производится по всем намеченным направлениям развития горных работ. Полученные точки по каждому разрезу соединяются между собой по признаку равных площадей полезного ископаемого и получают изолинии вынимаемой руды для всех возможных направлений углубки карьера. Дополнительно строится изолиния  $P=0$ . Для этого "трафарет" рабочей зоны перемещается сверху по линиям  $x, a-g, y$  до касания с полезным ископаемым.

В дальнейшем производится измерение площадей горной массы в пределах контуров рабочей зоны, соответствующие фиксированным значениям показателей полезного ископаемого. Для этого трафарет перемещают по изолиниям руды, и в точках пересечения с бортами карьера и вертикальными секущими плоскостями – возможными направлениями развития горных работ измеряются площади горной массы.

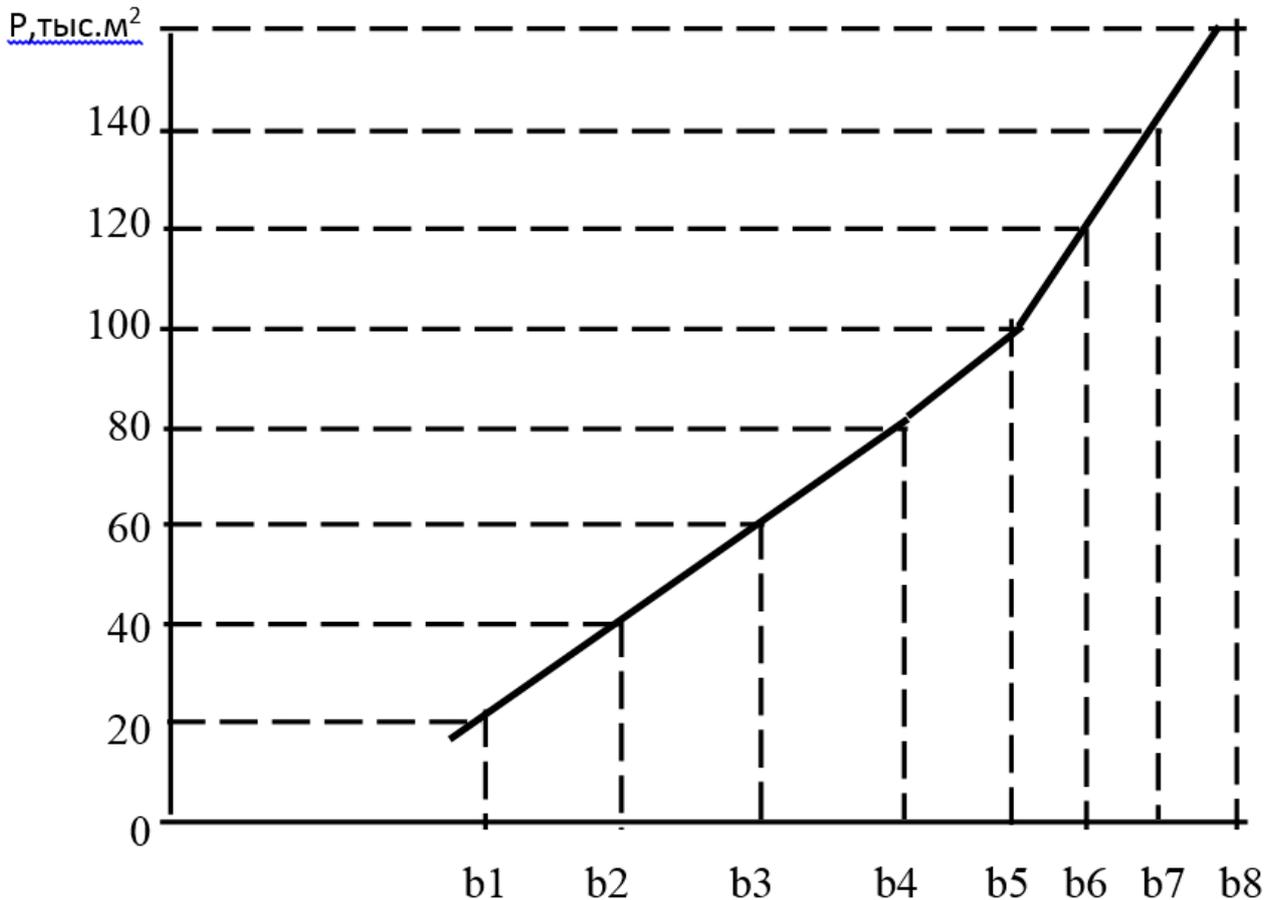


Рис. 3. Изменение площадей руды P по мере углубки карьера

Очевидно, что точке, в которой соблюдается принцип минимума среднего с начала отработки коэффициента вскрыши, будет соответствовать на каждой изолинии минимум объема горной массы, так как  $P = \text{const}$ . Результаты выполненных замеров сведены в таблицу 2.

Проведенные исследования показывают, что направление развития горных работ с учетом изменения качества руды соответствует направлению углубки по минимуму среднего с начала отработки коэффициента вскрыши (табл. 2, разрез по линии I-I). Таким образом, направление развития работ по мере углубки карьера на месторождении трубки «Катока» принимается по линии показанной на рисунке 4.

Изменение площадей горной массы при углубке карьера по различным направлениям

Изолинии руды	Направление углубки карьера								
	x	a	b	c	d	e	f	g	y
Разрез по линии I-I									
P=0	8,3	5,3	8,9	29,6	32,7	16,2	6,5	6,3	35,4
P=20	64	66,4	72,5	91	97,5	90,4	84,1	92,8	100,9
P=40	120,5	122,7	128	147,2	154,1	150,8	150,5	170,4	166,9
P=60	186,2	-	189,6	206,3	211,4	204,8	215,1	-	219,9
P=80	250,1	-	251,8	254,3	257,8	260	267,7	-	265,3
P=100	283,7	-	286,1	292,1	297,2	298,5	293,7	-	288,5
P=120	305,9	-	-	316,5	321,5	319,7	314,8	-	307,1
P=140	297,9	-	-	338,7	343,4	339,6	329,6	-	326,8
P=161	375,2	-	-	375,2	375,2	375,2	375,2	-	375,2

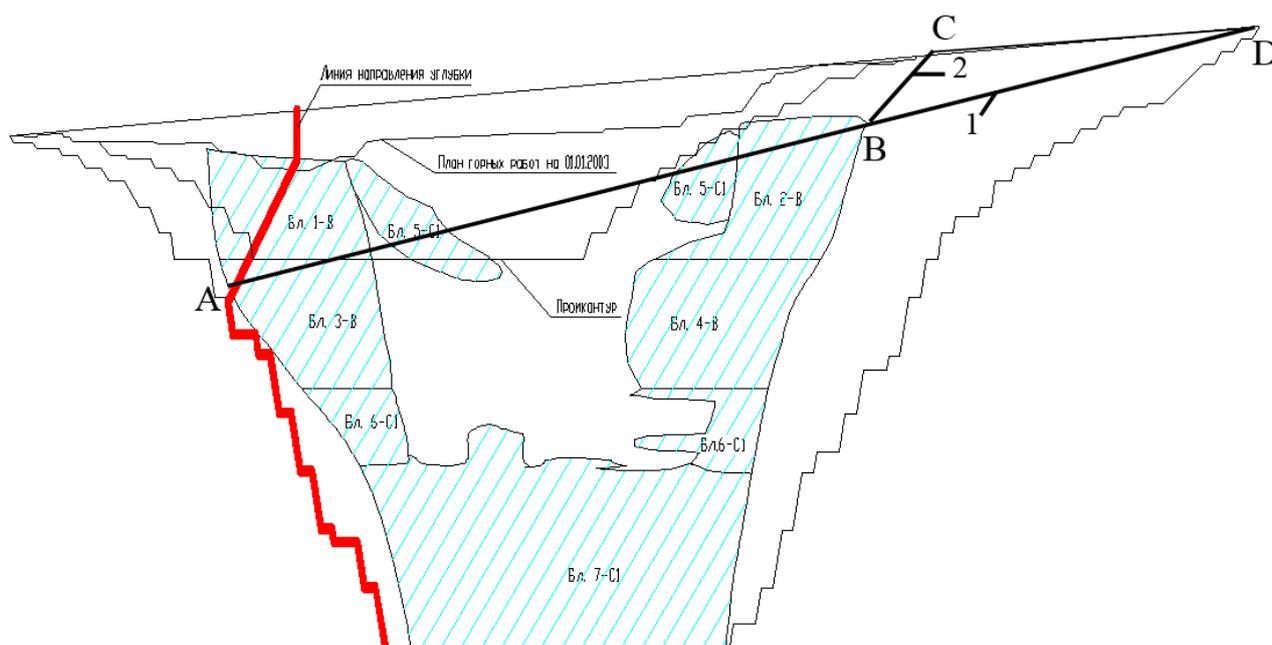


Рис. 4. Линия направления углубки, соответствующая минимуму среднего с начала отработки коэффициента вскрыши (разрез по линии I-I)  
 1 – положение промежуточного контура при развитии работ по базовому варианту; 2 – положение промежуточного временного нерабочего борта карьера

При разработке ценных алмазоносных руд большое влияние на экономические показатели работы оказывает колебание качества руды по мере отработки карьера, обусловленное направлением развития горных работ. Рассматриваемое месторождение трубки "«Катока»" характеризуется тем, что оно состоит из нескольких блоков полезного ископаемого, в каждом из которых содержится и могут быть извлечены полезные компоненты различной ценности.

Рациональное направление углубки карьера определяется по методике аналогичной изложенной выше. При этом вместо изолиний полезного ископаемого строятся изолинии ценности извлекаемой руды. В таблице 3 приведены сводные данные проведенных замеров и расчетов значений ценности полезного ископаемого и горной массы по мере углубки карьера с выделенными минимальными значениями горной массы. Линия, соединяющая указанные точки, определяет направление углубки карьера с учетом изменения качества полезного ископаемого.

Таблица 3  
Значения ценности полезного ископаемого и горной массы  
по линии разреза I-I

Этапы глубины	Направление углубки карьера								
	x	a	b	c	d	e	f	g	y
Ценность полезного ископаемого (долл. США)									
1	961,8	1761,9	1570,8	785,8	716,2	1412,1	1892	1744,7	960,2
2	4874,8	5175,7	5757,7	5879,5	5837,6	5588,3	4737,2	3426	3060,4
3	8637,6	-	9325,6	10116,3	10247,2	9771,2	8689,4	-	8037,5
4	17083	-	17083	17083	17083	17083	17083	-	17083
Изолинии ценности	Горная масса								
Ц=0	8,3	5,3	8,9	29,6	32,7	16,2	6,5	6,3	35,4
Ц=2000	56,1	58,3	68,5	87,9	96,8	90,6	85	98	104,2
Ц=4000	106,5	109,7	120,7	138,2	151,2	152,8	157,7	175,8	169,4
Ц=6000	170,4	-	177,5	191,8	207,6	207	217	-	219,9
Ц=8000	241,4	-	243,4	245,8	252,9	256,5	266,8	-	264,4
Ц=10000	275	-	281,8	288,3	292,2	295,2	292,4	-	285,8
Ц=12000	300,2	-	302,1	310,4	315,8	315,6	309,7	-	303,2
Ц=14000	320,8	-	-	331,4	336,8	334,3	325,9	-	321,6
Ц=16000	337,2	-	-	349,9	355,9	352	-	-	341,1
Ц=17083	375,2	-	-	375,2	375,2	375,2	-	-	375,2

После проведения построений и расчетов в программе "Datamine" был получен график  $V=f(P)$  на котором линия  $\varphi=0$  соответствовала минимальному углу рабочего борта, а  $\varphi_{\max}$  максимально возможному углу рабочего борта при условии понижения горных работ по оптимальному направлению углубки (рис. 5).

График  $V=f(P)$  позволил определить область регулирования режима горных работ. В искомой области регулирования построена линия ABCD, которая соответствует работе карьера со стабильным среднеэксплуатационным коэффициентом вскрыши большую часть периода отработки карьера. На основе линии ABCD разработан календарный график отработки месторождения. Некоторые отклонения полученной проектной линии от оптимальной ABCD объясняются сложностью горнотехнической обстановки и необходимостью подготовки норматива готовых к выемке запасов.

$V$ , млн. м<sup>3</sup>

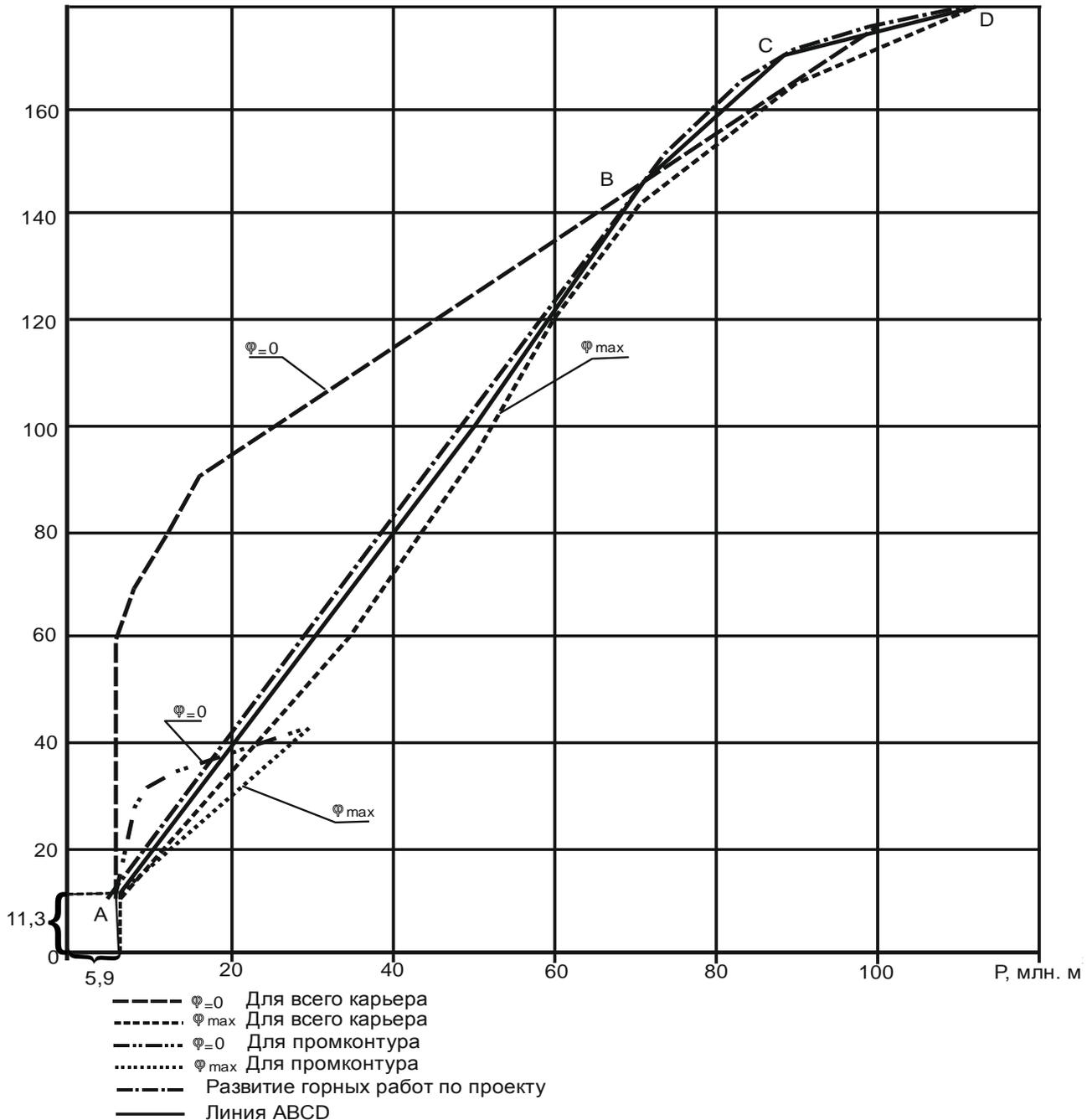


Рис. 5. График зависимости нарастающих объемов вскрыши от нарастающих объемов руды

**Выводы.** На основе графо-аналитического метода определения углубки карьера было установлено направление углубки, обеспечивающее соблюдение принципа "минимум среднеэксплуатационного коэффициента вскрыши" в течение всего периода эксплуатации карьера. На основе того же метода было определено направление углубки, соответствующее критерию "максимум среднего содержания алмазов". Обе полученные линии оптимального направления углубки оказались идентичными.

#### АНОТАЦІЯ

**Мета.** Розробити рекомендації щодо вибору раціонального напрямку розвитку гірничих робіт зі збільшенням глибини кар'єра.

**Методи дослідження.** Для досягнення поставленої мети в роботі використано графо-аналітичний метод, в основу якого покладена концепція використання в якості критерію оптимальності мінімального середнього з початку розробки коефіцієнта розкриву (або максимального коефіцієнта видобутку), який визначається шляхом побудови ізоліній корисних копалин у межах поточного контуру кар'єра.

**Результати дослідження.** На основі графо-аналітичного методу було встановлено раціональний напрямок розвитку гірничих робіт, що забезпечує дотримання принципу "мінімум середньоексплуатаційного коефіцієнта розкриву" протягом усього періоду експлуатації кар'єра. При розробці цінних алмазозносних руд великий вплив на економічні показники роботи надає коливання якості руди в міру відпрацювання кар'єра, обумовлене напрямком розвитку гірничих робіт. Родовище трубки «Катока» характеризується тим, що воно складається з декількох блоків корисних копалин, в кожному з яких містяться і можуть бути вилучені корисні компоненти різної цінності. На основі того ж методу було визначено напрям поглиблення, відповідне критерію "максимум середнього змісту алмазів". Обидві отримані лінії оптимального напрямку поглиблення виявилися ідентичними.

**Наукова новизна.** Після проведення побудов і розрахунків в програмі "Datamine" був отриманий графік  $V = f(P)$  на якому лінія  $j = 0$  відповідала мінімальному куті робочого борта, а  $j_{max}$  максимально можливого куті робочого борта за умови зниження гірничих робіт по оптимальному напрямку поглиблення. Графік  $V = f(P)$  дозволив визначити область регулювання режиму гірничих робіт. В області, в якій регулювання побудована лінія ABCD, яка відповідає роботі кар'єра зі стабільним Середнеексплуатаційний коефіцієнтом розкриву більшу частину періоду відпрацювання кар'єра. На основі лінії ABCD розроблений календарний графік відпрацювання родовища. Деякі відхилення отриманої проектної лінії від оптимальної ABCD пояснюються складністю гірничотехнічної обстановки і необхідністю підготовки нормативу готових до виїмки запасів.

**Практичне значення.** З урахуванням забезпечення мінімального середнього з початку розробки коефіцієнта розкриву, а також зміни якості корисної копалини, раціональне напрямку поглиблення кар'єра на першому етапі його розробки (до 150 м) приймати з заходу на схід. При подальшому розвитку гірничих робіт до глибини 450-500 м напрям поглиблення повинен бути на західному крилі кар'єрного поля.

**Ключові слова:** відкрита розробка, алмази, глибина кар'єру, гірська маса, коефіцієнт розкриву.

### ABSTRACT

**Goal.** To develop recommendations on selection of rational direction of mining development with increasing open pit depth.

**Research methods.** To achieve this goal, we used graph-analytical method, which is based on the concept of using as optimality criterion the minimum average since the beginning of the Stripping ratio (or maximum rate of extraction), which is defined by contouring of the mineral within the current pit outline.

**Research results.** On the basis of graph-analytic method rational direction of development of mountain works, providing the observance of principle a "minimum of sredneekspluatatsionnogo coefficient of stripping" during all period of exploitation of quarry, was set. At development of valuable amazonosnykh ores large influence on the economic indicators of work renders oscillation of quality of ore as far as working off a quarry, conditioned direction of development of mountain works. The examined deposit of tube of "«Katoka»" is characterized that it consists of a few blocks of useful iskopaemogo, in each of which contained and useful komponenty of different value can be extracted. On the basis of that method direction of deepening, proper a criterion a "maximum of middle maintenance of diamonds, was certain". Both got lines of optimum direction of deepening appeared identical.

**Scientific novelty.** After the leadthrough of constructions and calculations in the program "Datamine" the chart of  $V=f(P)$  was got on which the line of  $j=0$  corresponded the minimum corner of working side, and  $j_{max}$  to the maximally possible corner of working side on condition of lowering of mountain works to optimum direction of deepening. The chart of  $V=f(P)$  allowed to define the area of adjusting of the mode of mountain works. In the sought after area of adjusting the line of ABCD, which corresponds work of quarry with the stable sredneekspluatatsionnym coefficient of stripping greater part of period of working off a quarry. On the basis of line of ABCD the calendar chart of working off a deposit is developed. Some deviations of the got project line from optimum ABCD are explained complication of gornotekhnicheskoy situation and necessity of preparation of norm of the supplies prepared to the coulisse.

**Practical value.** With a view to ensuring the minimum average since the beginning of the development of Stripping ratio, as well as changes in the quality of the mineral, a rational direction uglubki career in the first phase of its development (up to 150 m) to take from West to East. With further development of mining works to depths of 450-500 m direction uglubki should be in the West wing of career fields.

**Keywords:** *openwork, diamonds, depth of quarry, mountain mass, coefficient of stripping.*