УДК 622.212.1

Саканцев Георгий Григорьевич
старший научный сотрудник,
доктор технических наук,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: lubk_igd@mail.ru

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ КАРЬЕРОВ С УЧЕТОМ ФАКТОРА ВРЕМЕНИ

Аннотация:

Предлагается метод определения границ карьеров на основе экономической оценки контурных объемов вскрышных и добычных работ с учетом разновременности затрат и доходов. Для снижения трудоемкости и повышения надежности решаемой задачи разработан численный экспресс-метод описания параметров предельных бортов карьеров с учетом их устойчивости и размещения вскрывающих выработок. Дополнительный разнос бортов для размещения вскрывающих выработок устанавливается в зависимости от технологических параметров применяемых транспортных средств – их ширины и преодолеваемого уклона.

Ключевые слова: границы карьера, контурный объем, затраты, доходы, норма дисконта, экспресс-метод

Sakantzev Georgy G.
senior researcher,
doctor of technical sciences,
The Institute of Mining UB RAS,
620075, Yekaterinburg,
Mamin-Sibiryak st., 58
e-mail: lubk_igd@mail.ru

THE PROXIMATE METHOD OF PITS' BOUNDARIES DETERMINATION WITH DUE REGARD FOR TIME FACTOR

Abstract:

The method of pit boundaries determination is proposed in terms of economic evaluation the contour scopes of stripping and mining operations with due regard for costs and revenues time difference. For reducing labor content and increasing reliability of the task being solved, the numerical proximate method of limit pits' edges description with due regard for their stability and mine workings arrangement is worked out. Additional pit edges spacing for mine workings arrangement is set depending on technological parameters of transport facilities being employed that is both their width and negotiated grade.

Key words: pit boundaries, contour scope, costs, revenues, rate of discount, proximate method

Одной из главных задач проектирования границ открытых горных работ, как и решения любой другой задачи проекта, является выбор критерия экономической оценки. Его объективность, способность отражать действительную сущность процесса, параметры которого оцениваются, определяет в конечном итоге надежность метода решения задачи. Критерий оценки должен быть однозначным и общим для каждого частного случая.

В соответствии с условиями рыночной экономики «Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов» [1], отражающие последние достижения отечественной и мировой экономической науки, рекомендуют оценку технических решений производить с учетом разновременности затрат и доходов.

Сравнение различных вариантов границ карьеров и выбор наиболее целесообразного рекомендуется производить с использованием различных показателей, к которым относятся чистый дисконтированный доход (ЧДД), внутренняя норма доходности (ВНД), внутренняя норма прибыли (JRR) и другие показатели, отражающие интересы участников или специфику проекта.

Обоснование границ карьеров с учетом фактора времени производится, как правило, на основе метода вариантов, базирующегося на сравнении дисконтированных затрат и доходов за относительно продолжительный период разработки месторождений. Он обладает большим и несомненным преимуществом, в первую очередь, универсальностью, наглядностью и внешней простотой. Этот метод незаменим на начальных стадиях проектирования, когда необходимо решать целый комплекс вопросов, в той или

иной степени связанных с определением таких границ, как определение производственной мощности, выбор способа и параметров вскрытия месторождения, обоснование параметров системы разработки, составление календарного плана горных работ, размещение поверхностных сооружений и т.д.

Методы повариантного чистого дисконтированного дохода и внутренней нормы доходности к настоящему времени достаточно хорошо разработаны, применяются в проектных и научных исследованиях. Однако они достаточно трудоемки, из-за чего обычно подвергаются оценке не более 3 – 4 вариантов [2]. Интервалы глубины по вариантам принимаются до ста и более метров. Это не гарантирует достаточной достоверности определения глубины карьеров. Сравнивая между собой существенно различающиеся варианты границ карьеров, особенно при разработке сложноструктурных месторождений, нельзя получить оптимальных решений.

Для уменьшения трудоемкости и повышения достоверности определения конечных границ карьеров необходимо создание более простых методов и алгоритмов оптимизации границ карьеров в трехмерном пространстве, основой которых могли бы стать широко применяющиеся в проектной практике принципы, основанные на сравнении контурных коэффициентов вскрыши с граничными. Приведение этих принципов в соответствие с требованиями рыночной экономики по учету разновременности затрат и доходов является существенным фактором повышения степени оптимальности границ не только в целом по месторождению, но и по отдельным, самым малым, его участкам.

Главная, определяющая, особенность глубоких карьеров – это значительное опережение вскрышных работ по отношению к добычным. Она особенно ощущается при определении границ карьеров. И если при их оценке по суммарным значениям приведенной прибыли или чистому дисконтированному доходу это обстоятельство в значительной степени затушевывается в общих объемах, затратах и экономических результатах открытых горных работ, в целом более эффективных по сравнению с подземными, то при сравнении контурных и граничных коэффициентов вскрыши, определенных на основе ЧДД, именно фактор опережения вскрышных работ проявляется наиболее значимо [3].

Границы карьеров, определяемые путем сопоставления граничных и контурных коэффициентов вскрыши, будут соответствовать принципам, определяемым на основе чистого дисконтированного дохода, только тогда, когда граничный коэффициент вскрыши приравнивается к контурному, определяемому с учетом фактора времени.

Это хорошо видно из рис. 1, на котором контурные объемы вскрыши являются частью объемов, определяемых на основе оценки календарных планов горных работ, а время их выемки соответствует времени выемки этих объемов.

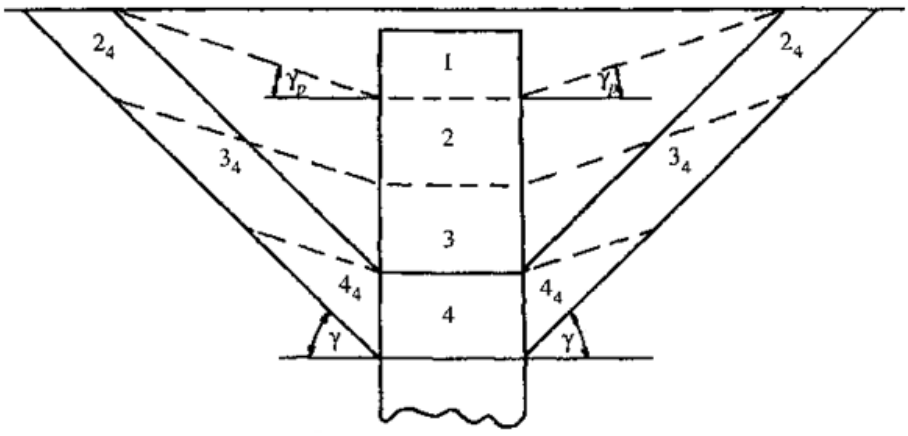

Рис. 1 – Схема, поясняющая разновременность добычных и вскрышных работ в приконтурном слое.
1 – 4 – этапы разработки

Затраты на удаление вскрыши из контурного слоя с учетом разновременности выемки отдельных объемов можно представить в виде дисконтированных затрат

$$\sum_{t=1}^{\mathrm{T}} C_{\mathrm{в}} V_t B_t, \quad (1)$$

где $C_{\mathrm{в}}$ – себестоимость вскрышных работ, руб/м^3; V_t – объем вскрыши, удаляемой в t-м году, м^3; B_t – коэффициент приведения. Тогда условие для включения элементарного контурного слоя в границы карьера будет иметь следующий вид:

$$\sum_{t=1}^{\mathrm{T}} \left(\mathrm{Ц}_t Q_t - C_{\mathrm{д}} Q_t\right) B_t - \sum_{\mathrm{t}=1}^{T} C_{\mathrm{в}} V_t B_t \geq 0, \quad (2)$$

где $\mathrm{Ц}_t$ – ценность товарной продукции в контурном слое, руб/м^3; $C_{\mathrm{д}}$ – себестоимость добычных работ, руб/м^3; Q_t – объем товарной продукции в контурном слое, м^3.

Уравнение (2) является достаточно универсальным, оно может быть адаптировано к различным условиям, обеспечивая учет динамики стоимостных показателей, транспортных условий и т.п. Оно может быть использовано для оценки целесообразности включения в границы карьеров отдельных рудных тел и залежей независимо от их размеров. Поэтому с терминологической точки зрения его нельзя отождествлять со способом, основанным на сравнении коэффициентов вскрыши. Но основной его функцией является определение границ карьеров на основе оценки контурных слоев.

В целом задачу по определению границ карьеров по условию (2) целесообразно решать методом вариантов. Назначаются варианты глубины и другие параметры контурных слоев, определяются углы наклона бортов с учетом размещения и параметров вскрывающих выработок, отражающих применяемые транспортные схемы и оборудование, определяющие объемы руды и вскрыши, время их выемки и производится экономическая оценка. Подготовительная часть чаще всего осуществляется с применением графического метода. Это довольно сложная и трудоемкая задача.

Трудоемкость расчетов при определении границ карьеров путем сравнения и оценки контурных слоев по дисконтированной прибыли по условию (2), может быть значительно уменьшена на основе создания более простого, но универсального метода, обеспечивающего учет влияния на определенный параметр всех основных определяющих факторов. Таким методом может стать экспресс-метод, основанный на численном учете и анализе основных определяющих факторов. Сущность метода состоит в том, что для каждого горизонта карьера, начиная снизу, определяется удельная длина его периметра d_n, занимаемая вскрывающей выработкой $h_{\mathrm{в}}$, по формуле

$$d_n = L_{\mathrm{в}} / L_n, \quad (3)$$

где L_n – периметр n-го горизонта, установленный по условиям устойчивости борта.

Разнос каждого горизонта ΔR_n, необходимый для размещения всех вскрывающих выработок, расположенных на нижних горизонтах, определяется путем последовательного суммирования (нарастающим итогом) удельной длины периметров d_n всех нижележащих горизонтов, умноженных на ширину этих выработок $B_{\mathrm{с}}$:

$$\Delta R_n = \sum_{n=1}^{N} d_{\mathrm{п}} \mathrm{B}_{\mathrm{с}}. \quad (4)$$

Контурный объем вскрышных пород на горизонте V_n определяется по формуле

$$V_n = 2\pi R_{\mathrm{рп}} h^2 \operatorname{ctg} \gamma_n, \quad (5)$$

где $R_{\mathrm{рп}}$ – результирующий радиус горизонта, установленный по условиям устойчивости борта и размещения на нем вскрывающих выработок ($R_{\mathrm{рп}}=R_{\mathrm{у}}+\Delta R_n$, где $R_{\mathrm{уп}}$ – радиус го-

ризонта по условиям устойчивости, м); h – высота уступа, м; γ_n – угол откоса нерабочего борта в пределах *n*-го горизонта, град.

Порядок определения дополнительного разноса бортов для размещения вскрывающих выработок и определения всех параметров предельного контура карьера можно пояснить на примере разработки крутопадающего столбообразного рудного тела с радиусом окружности 250 м при выходе на поверхность с отметкой 315 м, которое постепенно выклинивается по мере увеличение глубины. Принято к рассмотрению три варианта глубины карьера: 165, 195 и 225 м. Дно карьера в плане представляет собой округлую форму с радиусом 45 м, высота уступа равняется 15 м, скорость понижения горных работ на предельном контуре 15 м/год, вскрытие производится автомобильными съездами с уклоном 8 % и шириной 30 м. Длина отдельных съездов с учетом коэффициента развития трассы равняется 226 м. Себестоимость выемки вскрышных пород $C_в$=50 руб/м^3, руды $C_р$=100 руб/м^3. Цена добываемой руды Ц равняется 300 руб/м^3.

Порядок решения задачи представлен в табл. 1. Как сказано выше, задача решается, начиная с нижних горизонтов. При глубине карьера 165 м самый нижний горизонт имеет отметку 135 м, его средний радиус составляет 45 м, периметр – 283 м. При длине съезда 226 м для его размещения на горизонте 135 м должна быть предусмотрена часть периметра d=0,795. Съезд, обеспечивающий вскрытие горизонта с отметкой 150 м, будет занимать часть его периметра d_n, равную 0,598, но с учетом съезда горизонта 135 м его разнос должен составлять по длине 1,393 ($\sum d_n$=1,393) (табл. 1, колонка 6). Определяемая таким способом длина разноса отдельных горизонтов приведет к разносу борта по поверхности из расчета 4,182 витка шириной каждый по 30 м, т. е. разнос борта по поверхности карьера, необходимый для размещения всех съездов, составит $30 \times 4{,}182 \approx 125$ м. Тогда средний радиус верхнего горизонта карьера по условиям устойчивости с учетом размещения вскрывающих выработок составит 335 м. Дном карьера по условиям разноса вскрышных пород является горизонт 225 м, т.е. горизонт, на котором борт карьера пересекает рудное тело. Остальные нижележащие горизонты до отметки 135 м (глубина 165 м) составляют запасы руды, попадающие в границы карьера без разноса бортов по вскрышным породам.

Контурные объемы вскрышных пород по горизонтам определяются по формуле (5). Так, для горизонта 300 м контурный объем вскрыши при разносе борта по поверхности 35 м составит $2 \cdot 335 \cdot 3{,}14 \cdot 15\ (355 - 335)$=631 тыс.м^3, для горизонта 285 м $2 \cdot 3{,}14 \cdot 315 \cdot 15\ (335 - 315)$=593 тыс.м^3 и т. д. Затраты на вскрышные работы и выемку руды в прирезаемом контурном слое приведены к одному моменту оценки. Прямые затраты на вскрышные работы приведены в колонке 10 таблицы 1, дисконтированные – в колонке 12. Прямые и дисконтированные затраты на добычные работы (для запасов горизонта 225 м) составляют, соответственно, 249 и 159 млн руб., дисконтированный доход 473 млн. руб.

На основе сравнения прямых затрат и доходов по вариантам глубины карьера, представленного на рис. 2, прибыль, равная нулю, соответствует нулевому значению при глубине карьера 225 м. Но при оценке вариантов на основе дисконтированных затрат и доходов нулевому значению соответствует глубина 198 м (рис. 3); иными словами, необходимость учета требований рыночной экономики ведет к уменьшению глубины открытых горных работ. В этой связи встает задача разработки мероприятий по компенсации этого отрицательного влияния. В этом важную роль может сыграть новый экономический показатель оценки контурных слоев по уравнению (2). Его можно назвать дисконтированным контурным коэффициентом вскрыши (ДККВ). Применение этого показателя в противовес методу сравнения контурных коэффициентов вскрыши с граничным позволяет анализировать входящие в него факторы, определять их значимость и на этой основе вести разработку мероприятий по увеличению границ и эффективности открытых горных работ в условиях рыночной экономики.

Таблица 1

Определение дисконтированных контурных затрат по вариантам глубины карьера

Отметка горизонта, м	Средний радиус рудного тела на горизонте, м	Средний радиус горизонта по условиям устойчивости R_{yn}	Периметр горизонта по условиям устойчивости L_{yn}, м	Удельная длина съезда на горизонте d_n	Нарастающая удельная длина съездов на горизонте $\sum d_n$	Средняя величина разноса борта на горизонте ΔR_n	Средний результирующий радиус горизонта R_{pn}, м	Контурный объем вскрыши на горизонте V_n, тыс. м^3	Прямые затраты на выемку контурного объема вскрыши на горизонте $З_n$, млн руб.	Коэффициент дисконтирования $\frac{1}{(1+E)^t}$	Дисконтированные затраты на выемку контурного объема вскрыши на горизонте $З_д$, млн руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Глубина карьера 165 м											
Пов.	250	210	1319	0,171	4,182	125	335	631	31,55	1,0	31,50
285	245	195	1225	0,184	4,011	120	315	593	29,65	0,925	27,43
270	240	180	1130	0,199	3,827	115	295	557	27,85	0,856	23,90
255	235	165	1036	0,217	3,628	109	274	542	27,10	0,739	20,03
240	230	150	942	0,239	3,411	102	252	522	26,10	0,648	17,58
225	225	135	848	0,265	3,172	95	230	476	23,80	0,634	15,09
210	220	120	754	0,298	2,907	87	207				
195	215	105	659	0,341	2,609	78	183				
180	210	90	565	0,368	2,268	68	158				
165	205	75	471	0,477	1,870	56	131				
150	200	60	376	0,598	1,393	42	102				
135	195	45	283	0,795	0,795	24	69				
Итого								**3321**	**166**		**136**

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Глубина карьера 195 м											
Пов.	250	240	1507	0,144	4,490	135	375	707	35,35	1,0	33,35
285	245	225	1413	0,159	4,341	130	355	669	33,45	0,925	30,94
270	240	210	1319	0,171	4,182	125	335	633	31,65	0,856	27,09
255	235	195	1225	0,184	4,011	120	315	593	29,65	0,739	21,91
240	230	180	1130	0,199	3,827	115	295	557	27,85	0,684	19,05
225	225	165	1036	0,217	3,028	109	274	542	27,10	0,637	17,18
210	220	150	942	0,239	3,411	102	252	522	26,10	0,587	15,32
195	215	135	848	0,265	3,172	95	230	476	23,80	0,544	12,25
180	210	120	754	0,298	2,907	87	207	448	22	0,503	11
165	205	105	659	0,341	2,609	78	183				
150	200	90	565	0,368	2,268	68	158				
135	195	75	471	0,477	1,870	56	131				
120	190	60	376	0,598	1,393	42	102				
105	185	45	283	0,795	0,795	24	69				
Итого								**5147**	**257,35**		**188,46**
Глубина карьера 225 м											
Пов.	250	270	1695	0,139	4,770	143	413	856	51,36	1,0	51,36
285	245	255	1601	0,141	4,631	139	394	816	48,96	0,925	45,29
270	240	240	1507	0,144	4,490	135	375	777	46,62	0,858	40,00
255	235	225	1413	0,159	4,341	130	365	756	45,36	6,739	33,52
240	230	210	1319	0,171	4,182	125	335	694	41,64	0,684	28,48
225	225	195	1225	0,184	4,011	120	315	653	39,18	0,634	24,84
210	220	180	1130	0,199	3,827	115	295	611	36,66	0,587	21,52
195	215	165	1036	0,217	3,628	109	274	568	34,08	0,544	18,54
180	210	150	942	0,239	3,411	102	252	522	31,32	0,503	15,75
165	205	135	848	0,265	3,172	95	230	476	23,83	0,466	11,10
150	200	120	754	0,298	2,907	87	207	448	22,42	0,431	9,66
135	195	105	659	0,341	2,609	78	183				
120	190	90	565	0,368	2,268	68	158				
105	185	75	471	0,477	1,870	56	131				
90	180	60	376	0,598	1,393	42	102				
75	175	45	283	0,795	0,795	24	69				
Итого								**7137**	**421**		**300**

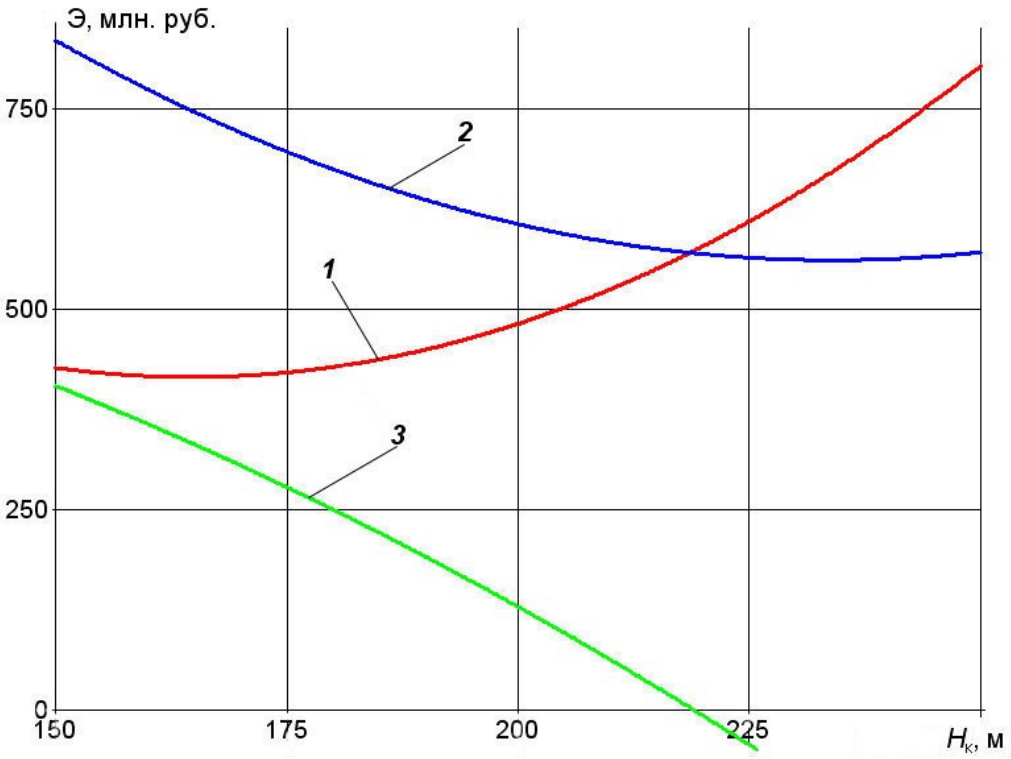

Рис. 2 – Зависимость прямых экономических показателей от глубины карьера:
1 – затраты; *2* – доходы; *3* – прибыль

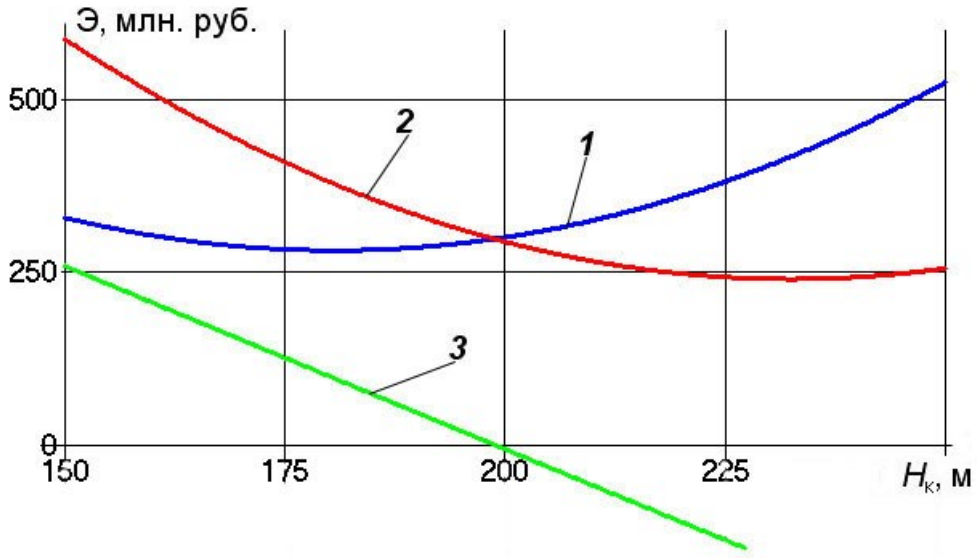

Рис. 3 – Зависимость дисконтированных экономических показателей от глубины карьера:
1 – затраты; *2* – доходы; *3* – чистый дисконтированный доход

Литература

1. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция). Утв. Минэкономики, Минфином и Госстроем РФ №ВК от 21.06.99. - М.: Экономика, 2000. – 421 с.

2. Кумачев К.А. Проектирование железорудных карьеров / К.А. Кумачев, В.Я. Майминд. – М.: Недра, 1981. – 464 с.

3. Саканцев М.Г. Влияние динамических горнотехнических факторов на граничный коэффициент вскрыши / М.Г. Саканцев // Освоение эффективности технологии добычи руд цветных металлов. Сб. науч. тр. / Унипромедь. – Свердловск, 1987. – С. 11 – 15.