

## ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.271.4.003.12:553.81

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ АЛМАЗОРУДНЫХ КАРЬЕРОВ С УЧЕТОМ РАЗНОВРЕМЕННОСТИ ЗАТРАТ НА ВСКРЫШНЫЕ РАБОТЫ

В. Л. Яковлев<sup>1</sup>, И. В. Зырянов<sup>2</sup>, А. Н. Акишев<sup>2</sup>, Г. Г. Саканцев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт горного дела УрО РАН, E-mail: yakovlev@igduran.ru,  
ул. Мамина-Сибиряка, 58, 620075, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Институт “Якутнипроалмаз” АК “АЛРОСА”,  
ул. Ленина, 39, 678174, г. Мирный, Республика Саха (Якутия), Россия

Приведен анализ способов учета разновременности затрат на вскрышные работы при определении границ глубоких карьеров. Выявлены их достоинства и недостатки и разработан принципиальный подход к определению дисконтированного граничного коэффициента вскрыши для наиболее типичных горно-геологических и горнотехнических условий разработки алмазородных месторождений, представленных одиночными столбообразными. Дисконтирование граничных коэффициентов вскрыши основано на включении в общепринятую формулу средневзвешенного коэффициента дисконтирования, представляющего корреляционную зависимость от скорости понижения горных работ, высоты зоны вскрышных работ и углов наклона рабочих бортов. Показано, что целенаправленное варьирование факторов, определяющих дисконтированный граничный коэффициент вскрыши, позволяет в значительной степени влиять на глубину открытых горных работ и их эффективность.

*Границы карьера, граничный коэффициент вскрыши, коэффициент дисконтирования, высота зоны вскрышных работ, скорость их понижения, угол наклона рабочих бортов*

Глубина карьера — важнейший параметр, в основном определяющий экономику, а зачастую и технологию открытых горных работ.

В настоящее время в качестве официального рыночного критерия экономической оценки вариантов производства принимается чистый дисконтированный доход (ЧДД) [1], который есть не что иное, как приведенная прибыль [2, 3]. Добавляются в затратах лишь различные налоги, а также предлагается учитывать риск неподтверждения или возможного отклонения от расчетных значений рассматриваемых или оцениваемых показателей. Поэтому ЧДД, а также его производные (например, внутренняя норма доходности) в работе [4] рекомендуются для оценки вариантов горных работ и, конечно, границ карьеров. При этом продолжается поиск более простых методов определения глубины карьеров с применением ЭВМ.

---

Статья подготовлена по результатам исследований, связанных с разработкой раздела национального стандарта РФ “Разработка алмазородных месторождений открытым способом в криолитзоне. Требования к проектированию”.

Новые рыночные условия существенным образом влияют на главный параметр всех проектируемых или реконструируемых глубоких карьеров — их границы. Это влияние будет проявляться двояко: повышение цен на минеральное сырье до мирового уровня способствует увеличению глубины карьеров, а необходимость учета разновременности выемки руды и вскрыши на основе чистого дисконтированного дохода в соответствии с Методическими рекомендациями [1] по оценке эффективности инвестиционных проектов, а также экологических факторов, наоборот, к уменьшению глубины.

Чтобы не допустить снижения уровня эффективности применения более прогрессивного открытого способа разработки, необходимо выявить, а затем и использовать при проектировании и определении глубины карьеров наиболее значимые горно-геологические, горнотехнические и другие факторы, способствующие увеличению границ глубоких карьеров. Они в максимальной степени должны учитываться при дальнейшем методологическом подходе к определению границ карьеров — в разрешении условий возможного применения критерия суммарных затрат (прибыли) и приравнивания контурного коэффициента вскрыши к граничному.

По мере развития методов преимущество попеременно отдавалось тому или другому критерию исходя из необходимости учета дополнительных факторов, совершенствования общих экономических критериев и методов расчета граничных коэффициентов вскрыши. В настоящее время представляется целесообразным использовать преимущества обоих критериев. Необходимо лишь, чтобы применение граничного коэффициента вскрыши  $K_{гр}$  давало сопоставимые результаты с критерием максимизации приведенной прибыли. Следовательно, методы расчета  $K_{гр}$  должны базироваться на его основе. Отметим самые главные преимущества совместного применения этих критериев.

Существенное преимущество граничного коэффициента вскрыши по сравнению с методом расчета суммарных приведенных затрат и эффекта (прибыли) является то, что при изменении значений одного или нескольких разнонаправленных факторов можно путем относительно простых расчетов быстро оценить характер и степень изменения границ карьеров как в целом по месторождению, так и по его отдельным, даже самым малым участкам.

Использование граничных коэффициентов вскрыши позволяет снизить трудоемкость не только ручных, но и машинных способов расчета, значительно увеличить количество рассматриваемых вариантов и на этой основе повысить достоверность определения границ карьеров, а следовательно, эффективность открытого способа разработки. Целесообразно сначала предварительно определить границы карьеров на основе равенства граничных и контурных коэффициентов вскрыши, а затем при необходимости рассматривать 2–3 наиболее характерных варианта путем сравнения по суммарным затратам и эффекту, а также по внутренней норме доходности.

Главная особенность глубоких карьеров — это значительное опережение во времени 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, полученных на основе ЧДД, именно фактор опережения вскрышных работ проявляется наиболее значимо [5].

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

Однако вопрос о создании надежного простого способа определения граничного коэффициента вскрыши с учетом разновременности затрат и доходов до настоящего времени остается нерешенным, хотя попытки такие делались. Так, в [6] предложено ввести в знаменатель определения граничного коэффициента вскрыши множитель  $(1 + E)^{t/2}$ , где  $E$  — норма дисконта,  $t$  — продолжительность выемки вскрыши из контурного слоя. Задаются варианты глубины карьера  $H_k$  и скорость понижения горных работ, затем находится продолжительность выемки вскрыши из контурного слоя и на их основе варианты граничного коэффициента вскрыши. По полученным данным строятся графики зависимости граничных и контурных коэффициентов вскрыши от глубины карьера. Проекция точки их пересечения на ось абсцисс дает целесообразное значение глубины, полученное с учетом дисконтирования, т. е. разновременности затрат и доходов. Недостаток этого способа — ограниченная область применения, так как при небольшой длине карьеров он не обеспечивает влияния изменения отдельных объемов с изменением глубины их расположения. Погрешность определения коэффициентов дисконтирования для карьеров округлой формы может достигать до 100 %. Позднее был предложен способ определения коэффициента дисконтирования будущей прибыли предприятия на основе убывающей величины его срока службы [7]. Но он также не обеспечивал реального учета разновременности затрат на вскрышные работы, так как не учитывал изменения их объемов с увеличением глубины залегания.

В работе [8] представлен универсальный экспресс-метод определения границ карьеров с учетом разновременности затрат и доходов. Он основан на экономической оценке контурных объемов руды и вскрышных пород. В этом случае назначаются варианты глубины карьера, определяются годовые объемы руды и проводится их экономическая оценка с приведением затрат и доходов к одному моменту оценки. Применение этого метода позволяет многократно снизить трудозатраты на выбор целесообразного варианта границ по сравнению с методом оценки календарных графиков вскрышных и добычных работ (трудоемкость по рассмотрению одного варианта снижается до 3–4 ч рабочего времени). Однако такого снижения трудоемкости недостаточно, чтобы рассмотреть и оценить значительное количество показателей, необходимых для выбора границ карьера с учетом влияния основных определяющих факторов и их возможных сочетаний.

Решить проблему трудоемкости определения границ без снижения достоверности расчетов можно с помощью метода, основанного на сравнении граничного и контурного коэффициентов вскрыши, введя в формулу для расчета граничного коэффициента вскрыши  $K_{гр}$  вместо выражения  $(1 + E)^{t/2}$  средневзвешенный коэффициент дисконтирования затрат на вскрышные работы  $B_{св}$ . Тогда для простых условий, характерных для определения границ карьеров на начальных стадиях проектирования, эта формула будет иметь вид

$$K_{гр} = \frac{C_n - C_o}{C_b B_{св}}, \quad (1)$$

где  $C_n$  — себестоимость полезного ископаемого, добытого подземным способом, руб./м<sup>3</sup>;  $C_o$  — себестоимость добычи полезного ископаемого без учета погашения вскрышных работ, руб./м<sup>3</sup>;  $C_b$  — себестоимость вскрышных работ, руб./м<sup>3</sup>.

Средневзвешенный коэффициент дисконтирования вскрышных работ может быть установлен в виде функций от определяющих факторов. Наиболее простые надежные зависимости можно получить на основе статистических исследований взаимосвязи этих факторов для отдельных наиболее типичных групп месторождений полезных ископаемых, близких по горно-

геологическим и горнотехническим условиям. В качестве функции цели для проведения статистических исследований средневзвешенный коэффициент дисконтирования затрат на вскрышные работы может быть представлен в виде выражения

$$B_{\text{св}} = \frac{\sum_{t=1}^T C_{\text{в}} V_t (1+E)^t}{\sum_{t=1}^T C_{\text{в}} V_t}, \quad (2)$$

где  $V_t$  — объемы вскрыши в контурном слое, подлежащие выемке в  $t$ -м году,  $\text{м}^3$ ;  $T$  — продолжительность отработки контурного слоя, лет.

Годовой объем вскрышных работ в  $t$ -м году находится по формуле

$$V_t = 2\pi h_{\text{г}} h_{\text{у}} \text{ctg} \gamma (R_{\text{р}} + t h_{\text{г}} \text{ctg} \gamma), \quad (3)$$

где  $h_{\text{г}}$  — скорость понижения горных работ,  $\text{м}/\text{год}$ ;  $h_{\text{у}}$  — высота уступа,  $\text{м}$ ;  $R_{\text{р}}$  — радиус рудного тела на глубине пересечения предельного борта с его контуром,  $\text{м}$ ;  $\gamma$  — угол наклона предельного борта карьера, град.

Конечное время отработки контурного слоя  $T$  составит

$$T = \frac{H_{\text{к}}(1 - \text{ctg} \gamma \text{tg} \varphi)}{h_{\text{г}}}, \quad (4)$$

где  $\varphi$  — угол наклона рабочего борта карьера, град.

На данной основе проведено исследование для одной из типичных групп кимберлитовых месторождений алмазов АК “АЛРОСА”, представленных одиночными столбообразными рудными телами округлой формы в плане при относительной длине (отношение длины рудного тела к его мощности) от 1 до 2 [9]. В качестве нижнего горизонта для оценки вскрышных работ принят горизонт пересечения предельного борта карьера с контуром рудного тела  $H_{\text{в}}$ , характеризующий глубину карьера, связанную с разносом вскрышных пород, в отличие от глубины, включающей объемы руды, добываемые без дополнительной выемки вскрыши.

Для установления требуемой зависимости рассмотрено большое число ситуаций при различном сочетании значений исходных данных, изменяющихся в диапазоне: высота от поверхности до пересечения борта с контуром рудного тела (далее — высота зоны вскрышных работ) от 150 до 450 м, скорость понижения горных работ от 15 до 45  $\text{м}/\text{год}$ , тангенс угла наклона рабочего борта от 0 до 0.5, горизонтальная площадь мощности рудного тела от 20 000 до 160 000  $\text{м}^2$ , угол наклона предельного борта от 40 до 50°. Норма дисконта  $E$  в соответствии с [1] принята равной 10 %. В качестве момента приведения, для удобства расчетов и наглядного сравнения дисконтированных и прямых затрат на вскрышные работы в контурном слое, принят момент пересечения бортом карьера контура рудного тела.

Предварительная оценка, выполненная с помощью нормализованной модели корреляционного анализа [10], показала, что наиболее значимыми факторами, определяющими средневзвешенный коэффициент дисконтирования, является скорость понижения горных работ  $h_{\text{г}}$ , высота зоны вскрышных работ или, иначе, глубина пересечения бортом карьера рудного тела  $H_{\text{в}}$  и угол наклона рабочего борта карьера  $\varphi$  (рис. 1). Дальнейшие исследования позволили установить наиболее целесообразный вид связи между средневзвешенным коэффициентом дисконтирования и этими наиболее значимыми факторами, которые для дальнейших расчетов можно выразить через продолжительность отработки контурного слоя вскрышных пород:

$$T = [H_{\text{в}}(1 - \text{tg} \varphi)] / h_{\text{г}}. \quad (5)$$

В результате детального исследования 36 различных вариантов сочетания исходных показателей установлена корреляционная зависимость между средневзвешенным коэффициентом дисконтирования и продолжительностью отработки контурного слоя вскрышных пород (рис. 2):

$$B_{\text{св}} = 1.256 + 0.0155T + 0.00729T^2. \quad (6)$$

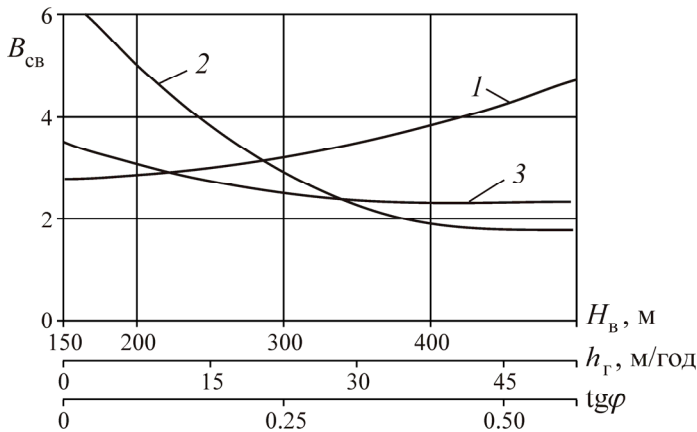


Рис. 1. Зависимость средневзвешенного коэффициента дисконтирования от определяющих факторов: 1 — высоты зоны вскрышных работ; 2 — скорости понижения горных работ; 3 — тангенса угла наклона рабочего борта карьера

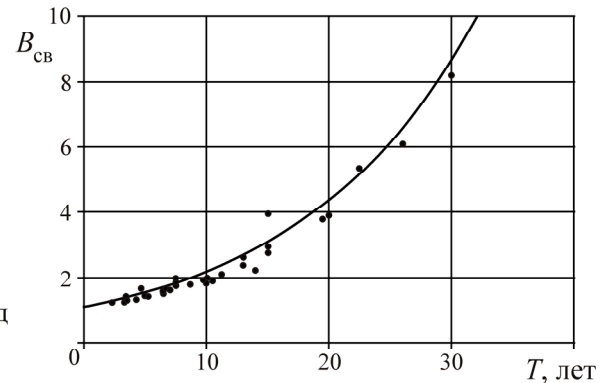


Рис. 2. Зависимость средневзвешенного коэффициента дисконтирования от продолжительности отработки контурного слоя вскрышных пород

Корреляционное отношение полученной зависимости составляет  $\eta = 0.983$ , коэффициент Фишера  $F = 29$ , что значительно больше табличного значения. Следовательно, гипотеза о том, что выравнивание по полученному уравнению регрессии лучше, чем выравнивание по среднему значению средневзвешенного коэффициента дисконтирования, не отвергается.

Среднеквадратическое отклонение коэффициента дисконтирования составляет 11.6 %, что значительно меньше погрешностей других исходных показателей определения границ карьера на основе сравнения граничного коэффициента вскрыши с контурным (величины запасов, их качественных показателей, себестоимости руды из открытых работ, себестоимости вскрыши, себестоимости подземных работ и т. д.), которые в совокупности превышают 30–50 % [11, 12]. Соответственно ошибка коэффициента дисконтирования, согласно теории ошибок, ведет к увеличению суммарной ошибки определения границ не более чем на 3 %. Это свидетельствует о целесообразности применения данного подхода для решения задач по определению границ карьеров с учетом дисконтирования.

Поскольку искомый параметр — высота зоны вскрышных работ — через средневзвешенный коэффициент дисконтирования входит в формулу граничного коэффициента вскрыши, то последняя может быть определена графически при пересечении двух кривых: зависимости дисконтированного граничного и контурного коэффициентов вскрыши от определяющих их факторов. При этом контурный коэффициент вскрыши для карьеров округлой формы, характерной при разработке столбообразных и трубообразных залежей, находится по выражению [13]

$$K_k = \frac{S_o}{S_p} - 1, \quad (7)$$

где  $S_o$  — площадь карьера по поверхности в плане,  $\text{м}^2$ ;  $S_p$  — горизонтальная площадь рудного тела на глубине  $H_v$ , где борта карьера входят в рудную зону,  $\text{м}^2$ .

Проекция пересечения кривых, характеризующих дисконтированный и контурный коэффициенты вскрыши, на ось абсцисс определяет глубину зоны вскрышных работ, т. е. глубину пересечения борта карьера с рудным телом. С этой глубины предусматривается углубление карьера по рудному телу без дополнительного разноса бортов под углами погашения до глубины, на которой размеры дна карьера составляют минимально допустимую величину. Эта глубина и является конечной глубиной карьера.

Так как в формулу (6) и фактически в формулу (1) в качестве определяющих факторов кроме высоты зоны вскрышных работ входит скорость понижения горных работ и угол наклона рабочего борта карьера, то его глубину можно вычислить при разных значениях этих факторов. Их увеличение ведет к увеличению глубины карьеров. Задаваясь наиболее рациональными значениями этих факторов, можно получить глубину карьера, наиболее целесообразную со всех точек зрения.

Порядок определения границ открытых горных работ с учетом дисконтирования затрат на вскрышные работы рассмотрим на примере. Необходимо рассчитать глубину карьера при разработке столбообразной залежи диаметром 250 м при углах наклона бортов карьера  $\gamma = 45^\circ$ , принятом диаметре дна карьера  $d = 50$  м, себестоимости подземных работ  $C_{\text{п}} = 2800$  руб./м<sup>3</sup>, себестоимости добычных работ при открытой разработке  $C_{\text{д}} = 400$  руб./м<sup>3</sup>, себестоимости вскрышных работ  $C_{\text{в}} = 115$  руб./м<sup>3</sup>.

Поскольку продолжительность отработки контурного слоя вскрышных пород  $T$  и средневзвешенный коэффициент дисконтирования  $B_{\text{св}}$  зависят от скорости понижения горных работ  $h_{\text{г}}$  и углов наклона рабочих бортов  $\varphi$ , глубину карьера следует определять с учетом варьирования этих показателей. С этой целью используем для расчетов два варианта исходных данных: вариант I —  $h_{\text{г}} = 30$  м/год,  $\text{tg}\varphi = 0.25$ , вариант II —  $h_{\text{г}} = 45$  м/год,  $\text{tg}\varphi = 0.5$ . Для построения зависимости дисконтированного граничного  $K_{\text{д.гр}}$  и контурного  $K_{\text{к}}$  коэффициентов вскрыши от определяющих факторов зададимся вариантами исходной высоты зоны вскрышных работ 100, 200, 300 и 400 м:

$H_{\text{в}}$ , м	$T$ , лет	$B_{\text{св}}$	$K_{\text{д.гр}}$ , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$K_{\text{к}}$ , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>
100	2.5	1.341	15.5	3
200	5	1.514	13.8	8
300	7.5	1.792	11.7	15
400	10	2.140	9.7	24

Первоначально определим глубину карьера для варианта I последовательно для каждой исходной высоты контурного слоя, определяя продолжительность отработки контурного слоя, средневзвешенного коэффициента дисконтирования, дисконтированного граничного коэффициента вскрыши, контурного коэффициента вскрыши. Затем графическим способом найдем искомую высоту зоны вскрышных пород и на ее основе конечную глубину карьера.

С учетом полученных значений строятся графические зависимости граничного дисконтированного граничного и контурного коэффициентов вскрыши от высоты зоны вскрышных работ (1 и 2 на рис. 3). Анализ данных зависимостей показывает, что искомая высота зоны вскрышных работ составляет 262 м. При мощности рудного тела 250 м и линейной длине дна 50 м она может быть увеличена на 100 м за счет выемки руды ниже глубины 262 м без дополнительного разноса бортов. Следовательно, для варианта I конечная глубина составит 362 м.

Выполненный аналогичный расчет для варианта II обеспечивает значительное увеличение дисконтированного граничного коэффициента вскрыши, зависимость которого от высоты зоны вскрышных работ (глубины пересечения бортом карьера рудного тела) представлена на рис. 3 кривой 3. В этом случае происходит увеличение конечной глубины карьера до 400 м (300 + 100).

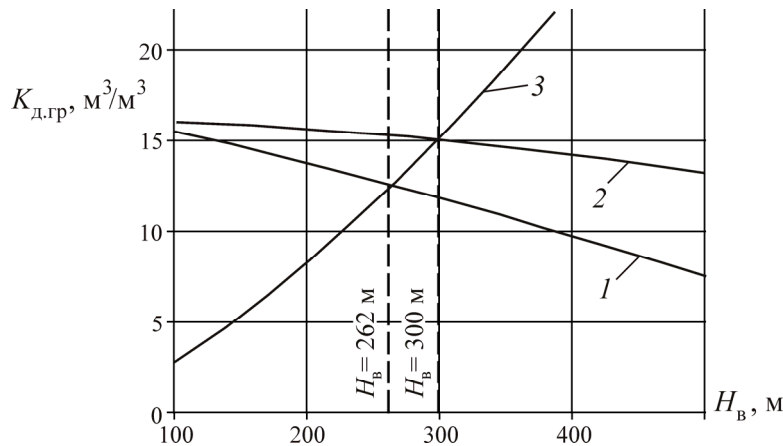


Рис. 3. Совмещенный график дисконтированных граничных (1, 2) и контурного (3) коэффициентов вскрыши: 1 — для варианта I; 2 — для варианта II

Признавая, что учет разновременности затрат и доходов ведет к уменьшению глубины карьеров [5], его следует рассматривать с двух точек зрения. С одной стороны, учет разновременности стимулирует более рациональное использование финансовых, природных и трудовых ресурсов, с другой — при ограниченных финансовых ресурсах высокий процент на капитал и связанная с ним высокая норма дисконта сдерживают развитие производства. В качестве нейтрализующего фактора существующей высокой нормы дисконта в работе [4] рекомендуется при обосновании границ карьеров пользоваться ценами алмазов в рублевом эквиваленте. В [12] применительно к отечественным горным предприятиям предлагаются следующие нормы дисконта на стадиях: предварительная разведка — 20 %, предварительное ТЭО (т. е. обоснование инвестиций) — 15 %, ТЭО — 10 %, полное развитие — 5–6 %. В [14] справедливо утверждается, что с точки зрения технического прогресса в горной промышленности для горных предприятий норма дисконта должна быть не выше 4–6 %. В любом случае возникает задача необходимости увеличения темпов технического прогресса в горной промышленности.

Для предприятий АК «АЛРОСА», являющихся источником валютных доходов, для увеличения глубины карьеров и расширения области прогрессивного открытого способа разработки помимо решения чисто методических задач необходимо интенсивное совершенствование техники и технологии горных работ. В ближайшей перспективе — это создание условий для эффективного внедрения крутых уклонов транспортных коммуникаций при отработке глубоких горизонтов и разработка методических и технологических решений для снижения разновременности затрат при отработке вскрышных пород на предельном контуре карьеров (оптимизация скорости понижения горных работ на основе совместного взаимоувязанного определения границ карьеров и их производственной мощности, увеличение углов наклона рабочих бортов, создание эффективных схем формирования временно нерабочих бортов и высокоскоростных и безопасных способов их расконсервации и т. д.).

## ВЫВОДЫ

В современных условиях необходимость дисконтирования затрат и доходов при принятии проектных решений делает задачу определения границ карьеров сложной и трудоемкой. Ее упрощение ведет к существенным ошибкам, чрезмерная детализация также не решает этой проблемы, так как все расчеты, особенно на начальных стадиях разработки месторождений, базируются на недостаточно надежной исходной информации, в частности геологической. В результате погрешность расчетов составляет не менее 40–50 %.

Одним из наиболее простых и надежных методов определения границ карьеров алмазородных месторождений столбообразной формы на начальных стадиях проектирования может стать метод, основанный на статистических зависимостях коэффициентов дисконтирования затрат и доходов от основных определяющих факторов, включая скорость понижения горных работ, глубину зоны вскрышных работ, представляющую собой глубину пересечения нерабочими бортами рудных тел, и углы наклона рабочих бортов.

Увеличение глубины карьеров в условиях необходимости дисконтирования затрат и доходов и повышение эффективности открытого способа разработки невозможно без ускоренного совершенствования техники и технологии горных работ на основе уменьшения объемов вскрывающих выработок, увеличения углов наклона рабочих и нерабочих бортов и широкого применения внутреннего отвалообразования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Методические рекомендации** по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция): утв. Минэкономики, Минфином и Госстроем РФ № ВК 477 от 21.06.99. — М.: Экономика, 2000. — 421 с.
2. **Хохряков В. С.** Критерии технико-экономической оценки вариантов открытой разработки // Горн. журн. — 1970. — № 9. — С. 16–19.
3. **Хохряков В. С.** Оценка эффективности инвестиционных проектов открытых горных разработок: учеб. пособие. — Екатеринбург: Изд-во УГГА, 1996. — 180 с.
4. **Трубецкой К. Н., Пешков А. А., Мацко Н. А.** Методы оценки эффективности инвестиций горных предприятий // Горн. журн. — 1993. — № 2. — С. 3–11.
5. **Яковлев В. Л., Саканцев М. Г., Саканцев Г. Г.** Границы карьеров при проектировании разработки сложноструктурных месторождений. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2009. — 302 с.
6. **Саканцев М. Г.** Оптимизация глубины карьера по граничному коэффициенту вскрыши, определенному с учетом разновременности прибыли (затрат) // Горн. журн. — 1973. — № 12. — С. 3–8.
7. **Ордин А. А., Клишин В. И.** Оптимизация технологических параметров горнодобывающих предприятий на основе лаговых моделей. — Новосибирск: Наука, 2009. — 166 с.
8. **Саканцев Г. Г.** Экспресс-метод определения границ карьеров с учетом фактора времени // Проблемы недропользования [Электронный ресурс]: рецензируемое сетевое периодическое научное издание / ИГД УрО РАН. — 2015. — Вып. 3. — С.27–34. — Режим доступа: // [trud.igduran.ru](http://trud.igduran.ru).
9. **Колганов В. Ф., Акишев А. Н.** Коренные месторождения алмазов Западной Якутии: справ. пособие / АК “АЛРОСА”, Институт “Якутнiproалмаз”. — Новосибирск: Гео, 2011. — 215 с.
10. **Brandon D. V.** Developing mathematical models for computer control, ISA Journal, 1959, No. 7.
11. **Хохряков В. С., Саканцев Г. Г.** Исследование точности технико-экономических показателей при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом // Горн. журн. — 1968. — № 5. — С. 5–21.
12. **Хохряков В. С.** Проектирование карьеров: учебник для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1992. — 383 с.
13. **Единая методика** проектирования горнодобывающих предприятий черной металлургии с открытым способом разработки: рек. Черметпроектом от 12.11.81 № 10-214. — Л.: Гипроруда, 1963. — 159 с.
14. **Истомин В. В.** О режиме открытых горных работ и его экономической оценке // Горные науки и промышленность: сб. ст. (Посвящается 70-летию со дня рождения В. В. Ржевского) / сост. Томаков П. И., Истомин В. В. — М.: Недра, 1989. — С. 251–258.