

Министерство образования Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В.Плеханова
(технический университет)

О.В.Шпанский, Д.Н.Лигоцкий, Д.В.Борисов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГРАНИЦ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов
Российской Федерации по образованию в области горного дела
в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся
по специальности «Открытые горные работы» направления
подготовки дипломированных специалистов
«Горное дело»*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2003

УДК 622.272.3 (075.80)
ББК 33.22
Ш831

В учебном пособии предлагаются современные проектные научно обоснованные методы определения границ открытых горных работ. Рассматривается определение граничного коэффициента вскрыши, углов откосов бортов карьеров в конечном положении, оконтуривание карьеров на поперечных профилях, построение планов карьеров на конец отработки со схемой капитального вскрытия. Предлагаются рекомендации по учету отрицательного влияния капитального вскрытия на конечные контуры, а также вопросы проектирования вскрытия и систем разработки карьерных полей, определения направления развития горных работ в карьерном пространстве и формирования схем комплексной механизации.

Научный редактор проф. *Ю.В.Шувалов*

Рецензенты: кафедра открытых горных работ Красноярской государственной академии цветных металлов и золота; проф. Ж.В.Бунин (Московский государственный геолого-разведочный университет).

Шпанский О.В.

Ш831. Проектирование границ открытых горных работ: Учебное пособие / *О.В.Шпанский, Д.Н.Лугоцкий, Д.В.Борисов*. Санкт-Петербургский государственный горный институт. СПб, 2003. 90 с. + 2 вклейки.

ISBN 5-94211-157-X

УДК 622.272.3 (075.80)
ББК 33.22

ISBN 5-94211-157-X

© Санкт-Петербургский горный институт им. Г.В.Плеханова, 2003 г.

Введение

Современная горная наука, проектная и производственная практики в начале двадцать первого века и третьего тысячелетия прогнозируют широкомасштабное применение открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых для обеспечения народного хозяйства минерально-сырьевыми ресурсами. В настоящее время в России карьерами добывается более 90 % железных руд, не менее 35 % руд цветных металлов, около 50 % угля, около 70 % асбестовых и фосфатных руд, 100 % минеральных строительных материалов и минерального строительного сырья. Это требует постоянной работы по совершенствованию, созданию и внедрению принципов и методов проектирования и ведения горных работ.

Проект на разработку месторождения является основой строительства горно-добывающего предприятия. В то же время проектирование всегда должно обеспечивать (в порядке авторского надзора) надежное функционирование добывающих предприятий и при этом быстро реагировать на изменение горно-геологических условий, совершенствование техники и технологий, изменение спроса и предложений на рынке минерального сырья, и, наконец, гарантировать конкурентоспособность в условиях новых экономических отношений.

Стратегическими задачами проектирования открытой разработки месторождений являются: определение границ карьеров, выбор и обоснование схем вскрытия и систем разработки, определение направления развития горных работ, определение развития производительности карьеров по полезному ископаемому, вскрыше и горной массе. Для этих решений выбирается площадка строительства, компонуется генеральный план горного предприятия, формируется

схема комплексной механизации, составляются календарные планы горных работ и т.д.

Главенствующими параметрами проектируемого карьера являются его границы.

В каждом проекте разработки необходимо определять максимально возможные границы карьера независимо от формы хозяйствования (плановая, рыночная и т.д.), дабы иметь полное представление о возможностях добывающего предприятия и эффективно использовать их в конкретных экономических условиях.

При установлении конечных границ карьеров по возможности следует учитывать максимум факторов их определяющих, несмотря на предполагаемую поэтапную отработку месторождения, так как именно конечные границы карьера на поверхности должны лежать в основе поиска местоположения зданий и сооружений промышленной площадки, обогатительной фабрики (дробильно-сортировочного завода, цементного завода и др.), административно-бытовых зданий, отвалов, чтобы эти сооружения не оказались в конечных контурах карьера или в недопустимой близости от них. Деление карьерного поля на очереди, выделение этапов по различным предпосылкам должно осуществляться в конечных контурах карьера, которые в первую очередь учитывают экономические условия (конъюнктуру рынка) через себестоимость, а в конечном итоге через граничные коэффициенты вскрыши, добычи, горной массы и др.

В настоящем пособии рассматриваются методы проектирования возможных значений конечных контуров карьера. При этом последовательно излагаются задачи: определение граничного коэффициента вскрыши, углов откосов бортов карьера в конечном положении, оконтуривание на поперечных профилях, нивелирование дна карьера, построение плана карьера на конец отработки и т.д. Кроме того, в пособии рассмотрены вопросы проектирования вскрытия, систем разработки карьерных полей, процессов горного производства; восстановления нарушенных земель и т.д.

Примерный состав исходных данных для проектирования открытых горных работ следующий:

- план поверхности месторождения в горизонталях с геолого-разведочными выработками и линиями геологических разрезов;

- гипсометрические планы почвы и кровли залежей полезного ископаемого, планы изомощностей вскрыши, полезного ископаемого, а также карты обводненности месторождения;

- геологические разрезы по всем разведочным линиям (основа подсчета запасов); на разрезах показываются выделенные качественные зоны, типы, сорта полезного ископаемого, границы подсчетных блоков, категории запасов, вмещающие породы, тектонические нарушения, разведочные выработки и пр.;

- данные о притоках подземных вод и атмосферных осадках;

- принципиальная схема водоотлива и водоотвода;

- данные о содержании основных полезных и вредных компонентов в выделенных зонах, типах и сортах полезного ископаемого, а также в прослоях вскрышных пород и во вмещающих породах;

- допустимые предельные углы устойчивых откосов уступов и бортов карьера для различных пород месторождения и глубин карьера;

- плотность и крепость по шкале проф. М.М.Протождяконова полезного ископаемого, покрывающих и вмещающих пород, влажность полезного ископаемого.

После оконтуривания карьера, решения вопросов вскрытия, системы разработки и параметров ее элементов геологическим отделом создаются:

- горизонтные геологические планы или планы эксплуатационных слоев (слоевые) с границами качественных зон, типов, сортов, подсчетных блоков и категорий запасов полезного ископаемого, а также с границами разновидностей вскрышных пород;

- таблицы балансовых и забалансовых запасов полезного ископаемого по типам, сортам, подсчетным блокам, качественным зонам, категориям и количество вскрышных пород в контуре проектируемого карьера (с разделением последних по литологическим разновидностям, по крепости и т.д.) по эксплуатационным слоям, участкам и в целом в карьере; таблицы статистических соотношений и коэффициентов рудоносности при невозможности геометризовать типы и сорта полезного ископаемого или внутренние прослои вскрышных пород; справки о кондициях, положенных в основу подсчета запасов и качественной характеристики. При использовании системы автоматизированного проектирования (САПР) указанные

исходные данные ложатся в основу математической модели месторождения, которая изучается в самостоятельном учебном курсе.

В настоящем учебном пособии рассматривается проектирование границ карьеров методами, используемыми в проектной практике, современные научные предложения по совершенствованию существующих методов, а также вновь разработанные методы проектирования.

1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГРАНИЦ КАРЬЕРОВ

1.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГРАНИЦ КАРЬЕРОВ

При проектировании карьеров основное внимание уделяется контролю подсчета запасов полезного ископаемого и отнесению их к определенной категории по разведанности. Согласно инструкциям Государственной комиссии по запасам (ГКЗ) балансовые запасы месторождений (использование которых экономически целесообразно на современном уровне техники и технологии добычи и переработки) могут быть включены в разработку только при определенном соотношении категорий по разведанности А, В, С₁ с учетом сложности строения залежей (табл. 1).

Таблица 1

Необходимые для проектирования соотношения запасов на месторождениях

Группы месторождений по строению	Количество запасов (%) от суммарных запасов категорий А + В + С ₁		
	А+В, не менее	В том числе А	С ₁
Простое строение	30	10	70
Сложное строение	20	–	80
Очень сложное строение	–	–	100

К категории А относятся запасы, для которых установлены условия залегания, прослои других пород, карстовые пустоты, выделены однородные слои. Качество полезного ископаемого оценено по каждому блоку согласно стандартам или заданным кондициям, выделены сорта, оконтуренные по площади и в глубину. Технологические свойства полезного ископаемого и его выход из горной массы детально изучены. Установлено содержание примесей. Детально выявлены гидрогеологические условия залегания полезного ископаемого и рассчитан ожидаемый приток воды в карьер. Определены условия залегания, мощность, физико-механические и другие свойства вскрышных пород. Запасы категории А подсчитываются только внутри контура, проведенного по крайним разведочным выработкам (скважины, шурфы). Расстояние между скважинами, шурфами и другими разведочными выработками находится в пределах 25-200 м в зависимости от вида ископаемого и строения его залежи.

К категории В относятся запасы, для которых определены основные особенности залегания, наличие включений вскрышных породы. По образцам, отобранным из выработок, достаточно полно изучено качество полезного ископаемого и вмещающих пород. Выход кондиционного материала установлен приближенно. Выяснены водоносные горизонты, их положение и дебит. Определены объем и характеристика вскрышных пород. Расстояние между разведочными выработками 50-300 м. Запасы могут быть подсчитаны как внутри контура, проведенного по крайним выработкам, так и в зоне экстраполяции до половины расстояния разведочной сетки от категории А.

К категории С относятся запасы, для которых условия залегания и качество выяснены приближенно или по аналогии с детально разведанными прилегающими участками месторождения. Запасы подсчитываются, главным образом, по экстраполяции. Расстояние между разведочными выработками 100-400 м.

Месторождения полезных ископаемых могут отрабатываться либо только подземным способом, либо комбинированным, когда часть запасов отрабатывается открытым способом, другая часть – подземным, либо только открытым способом.

Определение границ открытых работ при комбинированном или только открытом способе разработки (основном для месторож-

дений строительных материалов) заключается в решении ряда следующих задач:

- определение граничного коэффициента вскрыши (в настоящее время многие исследователи предлагают новые критерии оценки соотношения пород и полезного ископаемого в карьере: В.Г. Близнюков считает, что таким критерием должен быть коэффициент горной массы – отношение единицы объема удаляемой горной массы к единице извлекаемого из недр полезного компонента; В.С. Хохряков предлагает в качестве критерия показатель количества отходов – объем вскрыши плюс отходы обогащения, приходящиеся на единицу полезного компонента в товарной продукции; Г.А. Холодняков, следуя комплексному освоению недр, предлагает коэффициент добычи – отношение объемов полезного ископаемого к разрабатываемому объему горной массы. Все предложенные критерии имеют взаимосвязь с коэффициентом вскрыши);

- определение углов откосов бортов карьера в конечном положении;

- выбор принципа оконтуривания и определение границ карьера на поперечных разрезах (профилях);

- нивелирование дна карьера;

- построение плана карьера на конец отработки без схемы вскрытия;

- трассирование схемы капитального вскрытия, учет негативного влияния на конечные контуры;

- построение плана карьера со схемой вскрытия.

1.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГРАНИЦ КАРЬЕРОВ НА ВЫТЯНУТЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НАКЛОННЫХ И КРУТОПАДАЮЩИХ

1.2.1 Определение граничного коэффициента вскрыши

Из приведенных выше (раздел 1.1) критериев оценки контуров открытых работ, основанных на соотношениях вскрышных пород, полезного ископаемого и горной массы, наибольшее применение в современной проектной практике при определении границ карьеров находит граничный коэффициент вскрыши, определяемый

из экономических предпосылок. Это максимально допустимый коэффициент вскрыши, при котором в данных условиях открытая разработка месторождений экономически целесообразна.

В тех случаях, когда решается вопрос отработки месторождения открытым или подземным способом, или когда необходимо определить границу перехода с открытого способа на подземный, граничный коэффициент, как правило, определяется на основе сравнения открытого и подземного способов разработки месторождений. При этом принимаются условия, при которых полная себестоимость полезного ископаемого, добытого открытым способом C_p , не превышает себестоимости этого же полезного ископаемого, добытого в случае разработки данного месторождения подземным способом C_n , т.е. $C_p \leq C_n$.

Если $C_p = C_a + nC_b$, то $n \leq (C_n - C_a) / C_b$.

Максимальное значение коэффициента вскрыши (m^3/m^3) будет являться граничным:

$$n_{\Gamma} = \frac{C_n - C_a}{C_b}, \quad (1)$$

где C_a – себестоимость добычи открытым способом $1 m^3$ полезного ископаемого без погашения вскрыши; C_b – себестоимость выемки $1 m^3$ вскрышных пород при открытом способе разработки.

Выражение (1) широко используется при проектировании для предварительных расчетов. Однако оно необоснованно сокращает границы открытого способа разработки месторождений, так как учитывает только производственные затраты в карьере и не принимает во внимание эффективность капитальных вложений в извлекаемую ценность продукта.

Поэтому в институте «Гипроруда» применяется формула, учитывающая эффективность капитальных вложений при подземном и открытом способах разработки,

$$n_{\Gamma} = \frac{\gamma_o (C_n + fK_c + C_e + fK_e) - (C_a + fK_a + C_o + fK_o)}{C_b + fK_b}, \quad (2)$$

где $C_{п}$ – себестоимость 1 м^3 полезного ископаемого, добытого подземным способом; C_a – себестоимость 1 м^3 полезного ископаемого, добытого открытым способом, без учета стоимости удаления вскрышных пород, но включая погашение горно-капитальных работ; C_b – себестоимость удаления 1 м^3 вскрышных пород в период нормальной эксплуатации; C_e, C_o – себестоимость обогатительного передела 1 м^3 полезного ископаемого, добытого подземным и открытым способом соответственно; $\gamma_o, \gamma_{п}$ – выход концентрата при переработке полезного ископаемого, добытого открытым и подземным способами соответственно; K_c и K_a – удельные капитальные вложения на 1 м^3 полезного ископаемого, добытого подземным и открытым способом; K_e, K_o – удельные капитальные вложения по обогатительному переделу 1 м^3 полезного ископаемого добытого подземным и открытым способом; K_b – удельные капитальные вложения на 1 м^3 удаляемых из карьера вскрышных пород; f – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

В практике проектирования встречаются случаи, когда разработка месторождения возможна только открытым способом. Тогда при определении граничного коэффициента вскрыши в выражении (1) заменяют себестоимость из подземных работ $C_{п}$ на допустимую себестоимость C_d , под которой понимают максимально возможное значение себестоимости руды, обеспечивающее работу карьера с нормальной экономической эффективностью:

$$n_{г} = \frac{C_d - C_a}{C_b}. \quad (3)$$

Допустимая себестоимость определяется на основе оптовых цен на полезное ископаемое или продукты его переработки с учетом нормативной прибыли.

Если производственный цикл состоит из добычи полезного ископаемого и обогащения (что характерно для горно-обогатительных комбинатов, дробильно-сортировочных заводов и т.п.), то

$$C_d = \gamma_k C_{дк} - C_{ф}, \quad (4)$$

где $C_{\text{дк}}$ – допустимая себестоимость концентрата, щебня и т.д.; $\gamma_{\text{к}}$ – выход концентрата, щебня и т.д. из 1 т добытого полезного ископаемого; $C_{\text{ф}}$ – себестоимость переработки 1 т полезного ископаемого на обогатительной фабрике, дробильно-сортировочном заводе.

Для установления величины граничного коэффициента вскрыши при наличии попутного полезного ископаемого целесообразно пользоваться формулой, предложенной В.В. Ржевским,

$$n_{\text{г}} = \frac{C_{\text{д}} - C_{\text{а}}}{C_{\text{б}}} + q(n_{\text{д}} + 1), \quad (5)$$

где q – доля добычи попутного полезного ископаемого по отношению к объему добычи основного полезного ископаемого; $n_{\text{д}}$ – допускаемое количество пород на 1 м³ попутного полезного ископаемого (устанавливают, исходя из рентабельности добычи попутного полезного ископаемого в каждом конкретном случае).

При отработке комплексных месторождений, представленных несколькими полезными ископаемыми, следуя современной тенденции комплексного освоения недр, целесообразно пользоваться для определения границ открытых работ предложенным Г.А. Холодняковым граничным коэффициентом добычи.

Все стоимостные показатели в указанных выражениях принимаются в соответствии с достигнутыми на действующих передовых предприятиях, имеющих аналогичные проектируемому горно-геологические условия залегания, технико-технологические условия разработки и масштаб горных работ, либо принимаются по проектам аналогичных новых предприятий.

При различии между проектируемым предприятием и аналогом в производительности для сопоставимости стоимостных показателей производится их пересчет, учитывающий снижение себестоимости в зависимости от увеличения масштаба производства, и наоборот.

1.2.2. Определение углов откосов бортов карьеров в конечном положении

Углы наклона бортов карьеров в конечном положении необходимо устанавливать на основании анализа геологических, горно-технических и физико-географических условий месторождения, влияющих на устойчивость горных пород в откосах, а также с учетом технико-технологических факторов, формирующих конечные борта.

В самом простейшем случае при крепких слаботрециноватых породах, слагающих борта карьера, или при породах средней крепости и высоте борта до 150 м угол откоса борта в конечном положении можно найти из выражения

$$\beta_0 \geq \beta = \operatorname{arctg} \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n \delta_{\text{п}i} + \sum_{i=1}^n h_i \operatorname{ctg} \alpha_i}, \quad (6)$$

где β_0 – угол откоса борта по условиям устойчивости пород, град.; h_i – высота уступов в конечном борту; $\delta_{\text{п}i}$ – ширина бермы безопасности; α_i – угол откоса уступа в конечном положении.

Ориентировочные значения углов откосов бортов карьеров в конечном положении приведены в табл.2.

В сложных горно-геологических условиях, при большой горизонтальной мощности залежи, предопределяющей большую глубину карьера, решение об углах откосов бортов в конечном положении принимается, как правило, высококвалифицированными специализированными организациями (ВНИМИ, ВИОГЕМ). Согласно современным воззрениям специалистов, проектирование конечного борта карьера необходимо начинать с определения предельно допустимого расчетного угла (углов) его наклона по геомеханическому (физико-механические свойства и блочность законтурного массива) или геолого-структурному (элементы залегания лежащего бока полезного ископаемого либо протяженность поверхностей ослабления) критериям.

Таблица 2

Углы откосов бортов карьеров в конечном положении

Группа пород	Характеристика пород слагающих борта	Геологические условия	Ориентировочная величина углов откосов бортов карьеров, град.
I	Крепкие. Прочность пород на сжатие в образце $\sigma_{сж} > 80$ МПа	Крепкие, слаботрещиноватые породы при отсутствии неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления	55
		Крепкие, слаботрещиноватые породы при наличии крутопадающих ($>60^\circ$) или пологопадающих ($<15^\circ$) поверхностей ослабления	40-45
		Крепкие, слаботрещиноватые и трещиноватые породы при падении поверхности ослабления в сторону карьера под углами $25-55^\circ$	40-45*
		Крепкие, слаботрещиноватые и трещиноватые породы при падении поверхности ослабления в сторону карьера под углами $20-30^\circ$	20-30
II	Средней прочности, $\sigma_{сж} = 8-80$ МПа	Породы относительно устойчивые в откосах при отсутствии неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления	40-45
		Породы относительно устойчивые в откосах при наличии поверхностей ослабления с падением в сторону карьера под углами $35-55^\circ$	30-40
		Породы, интенсивно выветривающиеся в откосах	30-35
		Все породы группы при наличии поверхности ослабления с падением в сторону карьера под углами $20-30^\circ$	20-30
III	Слабые или несвязные, $\sigma_{сж} < 8$ МПа	Пластичные глины. Древние поверхности скольжения, слабые контакты между слоями и другие поверхности ослабления отсутствуют	20-30
		Поверхности ослабления имеются в средней или нижней частях борта	15-20

* Большему значению угла откоса борта соответствует большее значение угла падения поверхности ослабления.

Конструировать конечный борт технологом следует таким образом, чтобы он по возможности вписался в расчетный линейный профиль с соблюдением предельных параметров нерабочих уступов и берм. Параметры уступов и берм, в свою очередь, определяются

структурой слагающих их горных пород, техникой и технологией периодической чистки берм, а также требованиями правил безопасности. При этом следует отметить, что иногда сконструированный технологами борт по причине наличия транспортных берм и встро-енной схемы капитального вскрытия принимает значение конечного угла откоса борта меньшее расчетного, предложенного специали-рованными организациями.

Рассмотрим конструирование конечного борта (рис.1) проек-тировщиками по формирующим его технологическим факторам, к которым относятся:

- расчетные линейные контуры оконтуривания;
- обеспечение берм безопасности;
- оформление поуступного борта;
- построение схемы капитального вскрытия;
- построение транспортных берм.

Линейный борт I с расчетным углом откоса β (штриховая линия на рис.1) является результатом оконтуривания карьера по од-ному из принципов оконтуривания. При принятой высоте уступа h и угле его откоса α в конечном положении отстраивается поуступный борт (штрихпунктирная линия II), нижние бровки которого примы-кают к первоначальному линейному борту I.

Конструктивные бермы, определяемые из треугольников OKN и OKL (рис.1), сопоставляются с расчетными (нормативными) бермами безопасности δ_n

$$\delta_k = h(\operatorname{ctg}\beta - \operatorname{ctg}\alpha) \geq \delta_n. \quad (7)$$

При несоблюдении равенства (7) (умышленно в нашем слу-чае) требование Единых правил безопасности может быть обеспече-но либо уменьшением угла откоса конечного борта β , либо увеличе-нием угла откоса уступа α . Последнее неприемлемо, так как угол откоса уступа принимается предельно возможным с учетом типа пород, их физико-механических свойств, наличия поверхностей ослабления, падения слоев в сторону карьера и т.п. Выплаживание расчетного угла откоса борта карьера β до угла β' , обеспечивающего нормативные (расчетные) бермы, лишь повысит устойчивость борта.

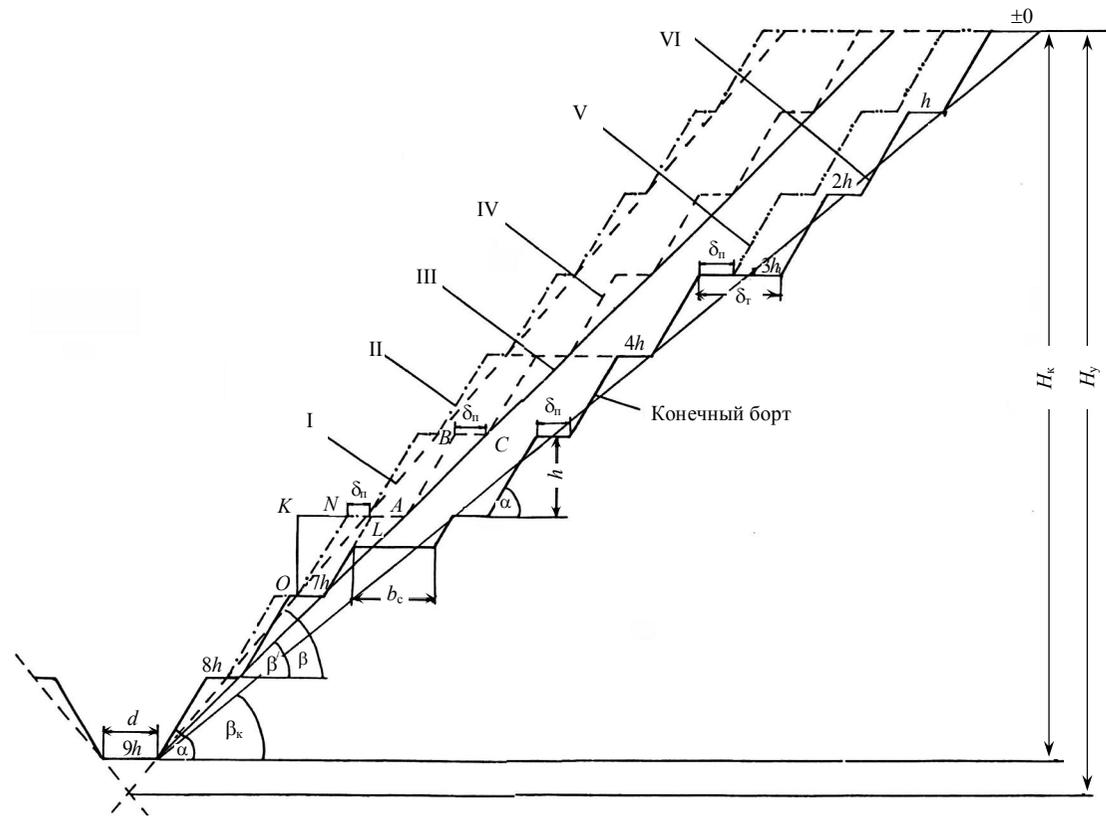


Рис.1. Формирование конечного борта карьера

Значение требуемого угла конечного борта β' может быть установлено по зависимости

$$\beta' = \arctg\left(\frac{\delta_{\text{п}}}{h} + \text{ctg}\alpha\right). \quad (8)$$

Под углом β' отстраивается линейный борт III (сплошная линия), а по нему поуступный борт IV (штриховая линия).

На конечных бортах карьера отстраивается схема капитального вскрытия (фактор IV), которая служит для размещения транспортных коммуникаций и обеспечения по ним грузотранспортной связи карьера с поверхностью. Чаще всего схема вскрытия представляется системой наземных горных выработок – съездов (поступательных, тупиковых, комбинированных). На рассматриваемом поперечном разрезе борта (см. рис.1) вскрытие представлено системой поступательных съездов шириной b_c (в разрез попал съезд с отметки $\nabla-6h$ на $\nabla-7h$). Борт со схемой вскрытия отражается штриховой линией с двумя точками пунктира (линия V). С отметки $\nabla-3h$ и ниже он совпадает с линией конечного борта (жирная линия VI).

В случае строительства транспортных берм δ_t (на разрезе на отметке $\nabla-3h$) формируется окончательный борт карьера (линия VI), являющийся следствием первоначального оконтуривания (I), обеспечения нормативных берм безопасности (III), оформления поуступного борта (IV), построения схемы капитального вскрытия (V) и транспортных берм (VI). При этом угол откоса конечного борта имеет значение β_k , существенно отличающееся от расчетного β ,

$$\beta_k = \arctg \frac{H_k}{qb_c + r\delta_t + \sum_{i=1}^{n-r} \delta_{\text{п}i} + \sum_{i=1}^n h_i \text{ctg}\alpha}, \quad (9)$$

где H_k – конечная глубина карьера, м; $t = 1, 2, \dots, n$ – число уступов в конечном борту карьера; $\delta_{\text{п}i}$ – ширина берм безопасности, м; α – угол откоса уступа в конечном положении, град.; b_c – ширина капитального съезда, м; q – число съездов; δ_t – ширина транспортной бермы; r – число транспортных берм.

1.2.3. Номограмма взаимосвязи элементов конечного борта карьера

Учитывая тот факт, что конструкция конечного борта карьера представляет собой совокупность большого количества элементов (уступов, берм безопасности, транспортных берм, углов откосов уступов, бортов, съездов и т.д.) с параметрами, изменяющимися в широких пределах, и достаточно большую трудоемкость их нахождения, целесообразно пользоваться разработанной номограммой, основанной на нормативных документах и закономерностях взаимосвязи элементов конечного борта между собой (рис.2 - в конце пособия). На номограмме ось абсцисс представляет собой ось высот (10, 12, 15, 20, 24, 30, 36, 40 м) принимаемых уступов при постановке их в конечное положение. Из указанных значений высот на оси абсцисс восстановлены перпендикуляры. Причем ордината, восстановленная из точки на оси абсцисс, соответствующей высоте уступа 40 м, занимает центральное положение. От нее по обе стороны восстановлены перпендикуляры для высот 10, 12, 15, 20, 24, 30, 36 м. Дублирование осей принято для того, чтобы разнести шкалы значений углов откосов конечных бортов при различных значениях углов откосов уступов в конечном положении.

Две самые крайние оси ординат являются осями берм безопасности δ_n и транспортных берм δ_t . Они аналогичны друг другу и дублированы для удобства считывания результатов в левой и правой частях номограммы.

На перпендикулярах для уступов высотой $h = 10$ м и $h = 40$ м построены шкалы для углов откосов уступов в конечном положении $\alpha = 50, 60$ и 70° слева от оси для $h = 40$ м и $\alpha = 55, 65$ и 75° справа от оси для $h = 40$ м со значениями берм безопасности для углов откосов конечного борта β от 35 до 55° через 1° . Для каждого значения угла откоса уступа шкалы разнесены для удобства их построения и считывания с них результатов.

Для каждого значения угла откоса уступа α построены области значений берм безопасности для всего диапазона изменения углов откосов бортов карьеров (от 35 до 55°), для чего соединены на шкалах для высот уступов $h = 10$ м и $h = 40$ м точки, соответствующие

ширине берм для углов откосов борта $\beta = 35^\circ$ и $\beta = 55^\circ$ и являющиеся предельными в областях.

Верхнее предельное значение берм для всех промежуточных значений высот уступов находится в точках пересечения соответствующих перпендикуляров с линией, соединяющей верхнее предельное значение для высот уступов $h = 10$ м и $h = 40$ м. Например, для высоты уступов $h = 24$ м, угла откоса уступа $\alpha = 60^\circ$ это будет точка N_{24} . Значение ширины бермы получаем проведением из точки N_{24} штриховой линии, параллельной оси абсцисс до левой оси ординат. В точке пересечения считываем результат $\delta_n = 20,4$ м.

Нижнее предельное значение берм для всех промежуточных высот уступов находится в точках пересечения соответствующих перпендикуляров с линией, соединяющей нижнее предельное значение для высот уступов $h = 10$ м и $h = 40$ м. Например, для высоты уступов $h = 20$ м, угла откоса уступа $\alpha = 65^\circ$ это будет точка M_{20} . Значение ширины бермы получим, проведя из точки M_{20} штриховую линию параллельно оси абсцисс до правой оси ординат. В точке пересечения получаем результат $\delta = 4,6$ м.

Все промежуточные значения берм для всех уступов могут быть найдены в области между предельными значениями, исходя из исходных данных. Например, необходимо определить ширину бермы для следующих условий: угол откоса уступа в конечном положении $\alpha = 75^\circ$, угол откоса конечного борта $\beta = 41^\circ$, высота уступа в конечном положении – строенный десятиметровый или сдвоенный пятнадцатиметровый уступ, т.е. $h = 30$ м. На шкале для угла откоса уступа $\alpha = 75^\circ$ (правая часть номограммы) отыскиваем значение угла откоса конечного борта $\alpha = 41^\circ$. Проводим горизонтальную линию (штриховая) до встречи с перпендикуляром для высоты уступа $h = 10$ м. Отмечаем найденную точку – C_{10} . В центральной части номограммы на шкале для $\alpha = 75^\circ$ отыскиваем угол $\beta = 41^\circ$. Из найденной точки проводим горизонтальную линию до встречи с перпендикуляром для $h = 40$ м – точка C_{40} . Соединяем точки C_{10} и C_{40} и отмечаем точку C_{30} пересечения построенной линии с перпендикуляром для уступа $h = 30$ м. Проводим из точки C_{30} линию, параллельную оси абсцисс, до встречи с правой осью ординат. В точке пересечения читаем искомый результат $\delta_n = 26,5$ м.

В номограмму встроены оси q грузоподъемности самосвалов, используемых на крупных карьерах, в увязке со шкалой ширины берм $\delta_{\text{н}}$ и $\delta_{\text{т}}$ (штрихпунктирные линии). Например, в соответствии с нормативами самосвалы грузоподъемностью 160-180 т должны иметь ширину транспортной бермы или съезда 29 м; 100-120 т – 26 м; 65-75 т – 21,5 м и т.д. Линии, проведенные параллельно оси абсцисс h из размеченных точек шкал q , пересекая области значений берм при различных сочетаниях углов откосов уступов и бортов в конечном положении дают возможность сравнить требуемую ширину транспортных берм с конструктивными значениями берм. Например, при использовании на карьере самосвалов грузоподъемностью $q = 75$ т требуется ширина транспортных берм $\delta_{\text{т}} = 21,5$ м. При угле откоса уступа в конечном положении $\alpha = 60^\circ$ и угле откоса борта $\beta = 35^\circ$, линия KL соответствует верхнему предельному значению ширины конструктивных берм для всех рассматриваемых высот уступов. Требуемой ширине транспортной бермы отвечают конструктивные бермы только для высот уступов $h = 30, 36$ и 40 м. Для всех остальных высот уступов необходимо изменение соотношения углов α и β для обеспечения требуемого значения транспортной бермы.

Таково местоположение и назначение элементов конечных бортов карьеров и их взаимосвязь в предлагаемой номограмме. Ниже приводятся решения некоторых задач с ее помощью:

1. *Обеспечение нормативного (расчетного) значения ширины берм безопасности $\delta_{\text{н}}$.*

Если при принятых значениях высоты уступа, углов откосов уступов и бортов конструктивная берма не отвечает расчетной (нормативной) берме безопасности, необходимо угол откоса конструктивного (расчетного) борта выполаживать до обеспечения требуемого значения ширины берм безопасности. Например, при угле откоса уступа $\alpha = 65^\circ$, угле откоса борта $\beta = 55^\circ$ и высоте уступа $h = 20$ м ширина конструктивных берм составила $\delta_{\text{к}} = 4,6$ м (точка M_{20}). Требуемая расчетная ширина $\delta_{\text{н}} = 6,7$ м. На оси ординат в правой части номограммы находим требуемое значение ширины бермы $\delta_{\text{н}} = 6,7$ м. Из найденной точки проводим прямую, параллель-

ную оси абсцисс до встречи с перпендикуляром для высоты уступа $h = 20$ м. Через полученную точку пересечения (M_{20h}) проводим прямую, соединяющую идентичные значения углов на осях для уступов $h = 10$ м и $h = 40$ м. Таковым является единственное значение $\beta = 44^\circ$. Из точки пересечения прямой с ординатой для $h = 10$ м или для $h = 40$ м и угла $\alpha = 55^\circ$ проводим прямую, параллельную оси абсцисс (штриховая линия), до пересечения с ординатой со шкалой для $\alpha = 65^\circ$ и читаем результат $\beta = 51^\circ$. Таким образом, расчетной берме безопасности $\delta_n = 6,7$ м соответствует угол откоса борта $\beta = 51^\circ$. Угол откоса уступа $\alpha = 65^\circ$ и высота уступа $h = 20$ м остались неизменными.

2. Нахождение ширины бермы при различных сочетаниях высот уступов и углов откосов уступов и бортов.

Найти ширину бермы при высоте уступа в конечном положении $h = 24$ м, угле откоса уступа $\alpha = 70^\circ$ и угле откоса борта $\beta = 41^\circ$. В левой части номограммы со шкалы для $\alpha = 70^\circ$ из точки, соответствующей углу $\beta = 41^\circ$, проводим горизонталь (штриховая линия) до встречи с перпендикуляром для уступа высотой $h = 10$ м (точка K'), а в центре номограммы со шкалы $\alpha = 70^\circ$ проводим горизонталь до перпендикуляра для $h = 40$ м (точка L'). Соединяем штриховой линией точки K' и L' . На пересечении этой линии ($K'L'$) с перпендикуляром для высоты уступа $h = 24$ м получаем точку N_{24}^1 . От этой точки проводим горизонталь до встречи с ординатой δ_n, δ_r и считываем результат $\delta_n = 19$ м.

3. Обеспечение необходимой ширины транспортной бермы при принятом виде технологического транспорта.

Для карьера с углом откоса уступа в конечном положении $\alpha = 65^\circ$, углом откоса борта карьера $\beta = 41^\circ$ и высотой уступа $h = 30$ м в качестве технологического транспорта принят автомобильный с самосвалами грузоподъемностью 75 т. В соответствии с нормами технологического проектирования ширина транспортных берм для такого типа самосвалов должна быть не менее 21,5 м. Однако, обратившись к номограмме, соединив точки на перпендикулярах при $h = 10$ м и $h = 40$ м для угла $\beta = 41^\circ$ (линия $K''L''$) на основе закона о прямой пропорциональности измене-

ния ширины бермы с изменением высоты уступа находим точку пересечения $K''L''$ с нормалью для $h = 30$ м, из которой проводим горизонталь до ординаты δ_n , δ_t и читаем результат $\delta_t = 20,4$ м, что менее нормативного значения.

Для обеспечения нормативного значения бермы δ_t необходимо выполаживать угол откоса конечного борта. С этой целью постепенно перемещаем линию $K''L''$ вверх по нормальям для $h = 10$ м и $h = 40$ м, соединяя значение берм для одних и тех же углов. Как только линия коснется точки пересечения нормали для $h = 30$ м с линией грузоподъемности $q = 65-75$ т (линия $L'''K'''$) следует считать значение угла откоса борта, обеспечивающего нормативное значение транспортной бермы, найденным. В рассматриваемом случае это будет угол $\beta = 40^\circ$.

Таким образом, принятые решения по технологическому транспорту и планирование заложения транспортных берм в конечном борту карьера требуют выполаживания угла откоса, что ведет к увеличению вмещающих пород в конечном контуре карьера и снижению экономического эффекта открытой разработки. По этой причине окончательное решение в таких случаях – за технико-экономическими расчетами. Возможно изменение погрузочно-транспортного комплекса.

Иногда и верхний предел значений берм в области (чему соответствует минимальный $\beta = 35^\circ$ и максимальный $\alpha = 75^\circ$, правая часть номограммы) не обеспечивает требуемых значений ширины транспортных берм. С этих позиций необходимо оперировать высотой уступа либо грузоподъемностью транспортных средств. Так, при грузоподъемности самосвалов $q = 160-180$ т транспортные бермы могут обеспечиваться высотой уступа, начиная с $h = 30$ м и выше, при $q = 110-120$ т – начиная с $h = 24$ м; $q = 65-75$ т – $h = 20$ м и выше; $q = 27-30$ т – $h = 15$ м и выше. Поэтому выход из положения может быть гарантирован либо увеличением высоты уступа, либо снижением грузоподъемности самосвалов. Правильное решение должно показать технико-экономическое обоснование.

Таким образом, номограмма предлагает графические способы решения в кратчайшие сроки многих задач, касающихся взаимосвязи элементов конечного борта карьера.

1.2.4. Принципы оконтуривания.

Определение границ карьеров на поперечных профилях

Определив граничный коэффициент вскрыши и допустимый угол откоса борта карьера на конец отработки, приступают к нахождению границ карьера на геологических разрезах.

Геологические разрезы желательно иметь нормальными (перпендикулярными) к простиранию залежи (линия 1-1 на рис.3). В случаях, когда разрезы даны под острым углом к простиранию (линия 1'-1' на рис.3), необходимо вводить понижающий коэффициент к величине максимального устойчивого угла наклона борта карьера. Для указанных разрезов угол наклона борта карьера

$$\beta = \arctg \cos \gamma \operatorname{tg} \alpha, \quad (10)$$

где β – угол наклона борта карьера на «косом» разрезе, град.; α – максимальный устойчивый угол наклона борта карьера, град.; γ – плоский угол между нормальным и «косым» разрезами, град.

Теперь необходимо выбрать принцип оконтуривания, т.е. определить, к какому коэффициенту вскрыши приравнять граничный коэффициент при построении контуров открытых работ на

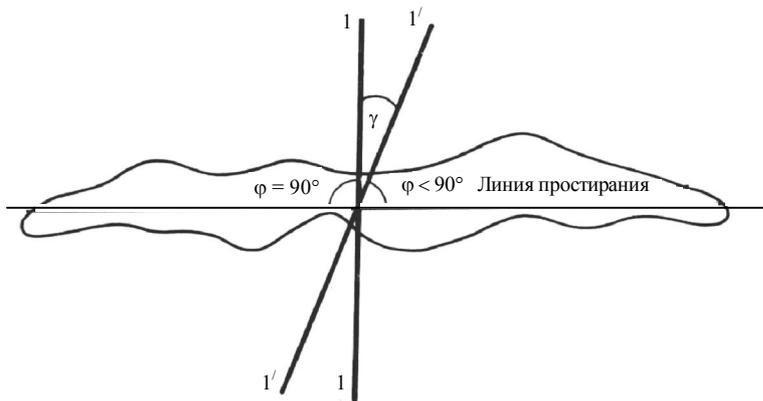


Рис.3. Схема к установлению угла откоса конечного борта карьера при оконтуривании на косых разрезах

разрезах. В настоящее время при проектировании используются несколько принципов: $n_r \geq n_k$ – приравнивание граничного коэффициента контурному (М.И. Гоберман, А.И. Стешенко, Н.А. Кузнецов, П.И. Городецкий, Б.П. Боголюбов); $n_r \geq n_t$ – приравнивание граничного коэффициента текущему (В.В. Ржевский); $n_r \geq n_{cp}$ – приравнивание граничного коэффициента среднему (А.И. Стешенко, Н.А. Кузнецов, А.В. Бричкин); $n_r \geq n_0 + n$ – приравнивание граничного коэффициента сумме первоначального коэффициента вскрыши n_0 и максимального усредненного по периодам работы карьера эксплуатационного коэффициента вскрыши n (А.И. Арсентьев). Здесь n_0 – первоначальный коэффициент вскрыши, равный отношению объема пород, вынимаемых за счет капитальных затрат, к общему объему извлекаемых запасов полезного ископаемого в контурах карьера, приведенный по стоимости к эксплуатационному коэффициенту вскрыши.

Во всех случаях глубина карьера устанавливается в основном графически по принципу приравнивания граничному коэффициенту вскрыши отношений линейных участков бортов карьера, находящихся во вмещающих породах висячего и лежачего боков, к соответствующим участкам, находящимся в залежи.

Правомерность подобного подхода продемонстрируем на примере. На рис.4 представлен разрез по месторождению с конечными контурами карьера ABC . При бесконечно малом изменении

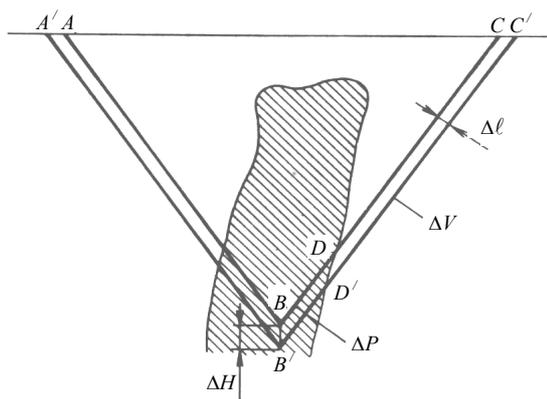


Рис.4. Схема к установлению границ карьера

границ карьера (контур $A^1B^1C^1$) глубина карьера увеличится на величину ΔH . Прирост запасов в новых контурах составит ΔP , а вскрышных пород ΔV . Расстояние по нормали между старым (BC) и новым (B^1C^1) положениями бортов отражается величиной $\Delta \ell$. В этом случае контурный коэффициент вскрыши

$$n_k = \frac{\Delta V}{\Delta P}.$$

В свою очередь,

$$\Delta V = \frac{1}{2} \Delta \ell (DC + D^1C^1), \quad \Delta P = \frac{1}{2} \Delta \ell (BD + B^1D^1).$$

Тогда

$$n_k = \frac{\Delta \ell (DC + D^1C^1)}{\Delta \ell (BD + B^1D^1)}.$$

Переходя к пределу, имеем

$$n_k = \lim_{\substack{\Delta l \rightarrow 0 \\ DC \rightarrow D^1C^1 \\ BD \rightarrow B^1D^1}} \frac{\Delta \ell (DC + D^1C^1)}{\Delta \ell (BD + B^1D^1)} = \frac{DC}{BD}.$$

Что и требовалось доказать.

По принципу $n_r \geq n_k$ на каждом геологическом разрезе со стороны висячего и лежащего боков залежи проводят линии под углом к горизонту, равным расчетному углу откоса борта карьера в конечном положении (рис.5). Точка пересечения линий O должна находиться в пределах залежи. Перемещая эти линии по вертикали и горизонтали (при обязательном соблюдении принятых углов откосов бортов), находят такое их положение, при котором отношение длины отрезка L_n каждой линии, идущей по вмещающим породам, к длине отрезка L_p , идущего по полезному ископаемому до пересечения с такой же линией противоположного наклона, будет равно граничному коэффициенту вскрыши, т.е. $n_r = L_{ni}/L_{pi}$ и $n_r = L_{nd}/L_{pd}$. Такое положение наклонных линий будет соответство-

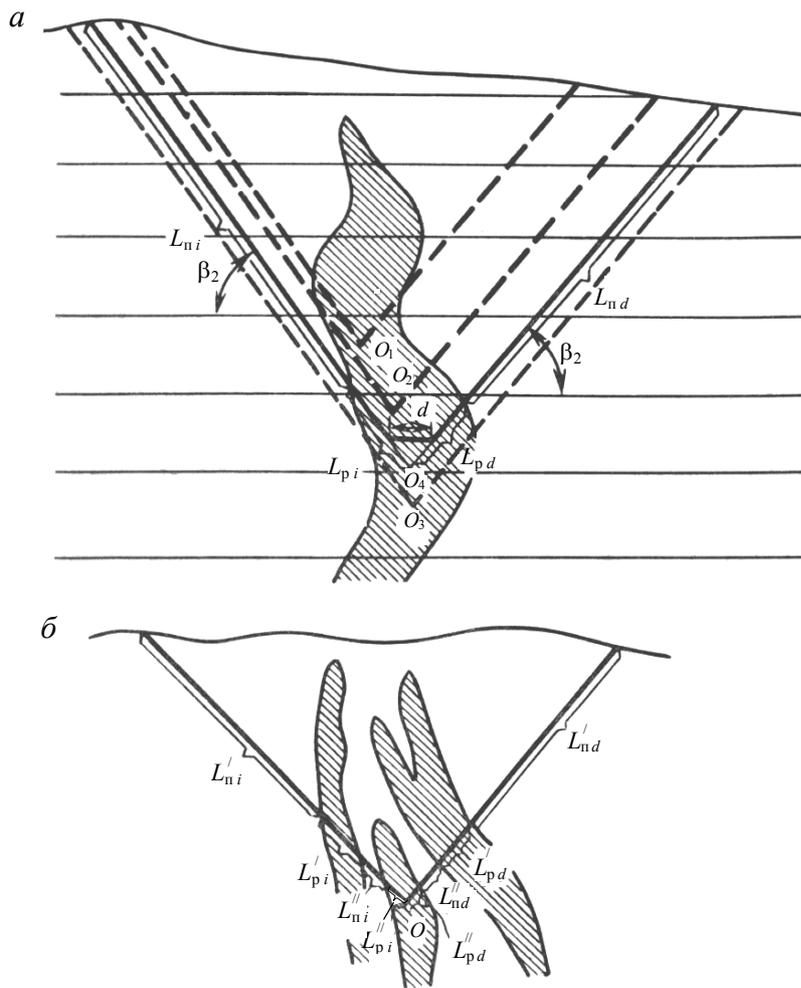


Рис.5. Схемы к установлению границ карьера по принципу $n_r \geq n_k$:
 а – при одиночной залежи; б – при группе залежей

вать положению конечных линейных бортов карьера (фактор I на рис.1) при принятом значении граничного коэффициента n_r . Дно карьера на каждом разрезе определяется горизонтальной линией, проведенной в пределах залежи. Длина этой прямой d на рис.5, а

выражает ширину карьера по дну и определяется нормами технологического проектирования.

Для упрощения определения границ по принципу $n_r \geq n_k$ в проектной практике часто используют трафарет, представляющий собой вычерченные на кальке откосы борта карьера в конечном положении с точкой пересечения на горизонтальной опорной линии, наличие которой обеспечивает постоянство расчетных углов откосов конечных бортов. Перемещая вершину трафарета в зоне залежи и соблюдая горизонтальность опорной линии, находят указанные выше соотношения на бортах.

В тех случаях, когда залежь представлена несколькими телами полезного ископаемого (рис.5, б), найденным границам должны соответствовать соотношения:

$$n_r = \frac{L_{pi}' + L_{pi}''}{L_{pi}' + L_{pi}''}; \quad n_r = \frac{L_{pd}' + L_{pd}''}{L_{pd}' + L_{pd}''}$$

или в общем виде

$$n_r = \frac{\sum_{j=1}^k L_{pij}}{\sum_{j=1}^k L_{pdj}},$$

где k – количество тел полезного ископаемого.

Следует указать, что по этому принципу анализируется только нижняя придонная часть месторождения (обычно слабо разведанная) и совершенно не учитываются объемы налегающих вскрышных пород.

По принципу приравнивания граничного коэффициента текущему ($n_r \geq n_r$) конечная глубина карьера определяется следующим образом (рис.6, а): в соответствии с принятым направлением развития горных работ на глубину на поперечных разрезах вычерчиваются положения рабочих бортов карьера при максимальных углах откосов φ_1 и φ_2 (может быть применен трафарет). Определяются значения текущего коэффициента по отношению отрезков (как и при

применении принципа $n_r \geq n_k$) и сравниваются с граничным коэффициентом вскрыши.

Когда будет достигнуто равенство $n_r = n_t$, фиксируются верхние бровки карьера (точки A и B) и от них вниз под углами погашения β_1 и β_2 проводятся борта карьера до пересечения в точке O . Затем строится дно карьера и определяется его конечная глубина H_k . Если точка O окажется вне залежи, то карьер переносят параллельно самому себе до размещения указанной точки в центре залежи и далее, как описано выше, строят дно и определяют конечную глубину.

В карьере, глубина которого определена по принципу $n_r \geq n_t$, в период эксплуатации значения эксплуатационного коэффициента вскрыши не будут превышать величины граничного коэффициента вскрыши.

По принципу равенства граничного коэффициента среднему $n_r \geq n_{cp}$ границы карьера определяются методом последовательного приближения. Строится карьер первого приближения (контур I на рис.6, б), подсчитывается объем пород и полезного ископаемого, определяется средний коэффициент вскрыши и сравнивается с граничным. Если коэффициенты не совпадают, изменяют границы карьера (поднимают или опускают дно, контур II на рис.6, б). И так до тех пор, пока не будет достигнуто соответствие (контур III на рис.6, б).

Определение границ карьера на основе принципа $n_r \geq n_0 + n$ в конкретных условиях может осуществляться следующими методами: вариантов, использования допустимого среднего коэффициента вскрыши и аналитическим.

При построении границ *методом вариантов* намечают вариант I границ карьера (например, H_1 на рис.6, б), выбирают направления вскрытия и углубки (по стрелке). Затем строят положения горных работ (рабочие борта под углом φ), подсчитывают объемы, строят график $V = f(P)$ и определяют наибольший усредненный эксплуатационный коэффициент вскрыши n и первоначальной коэффициент n_0 .

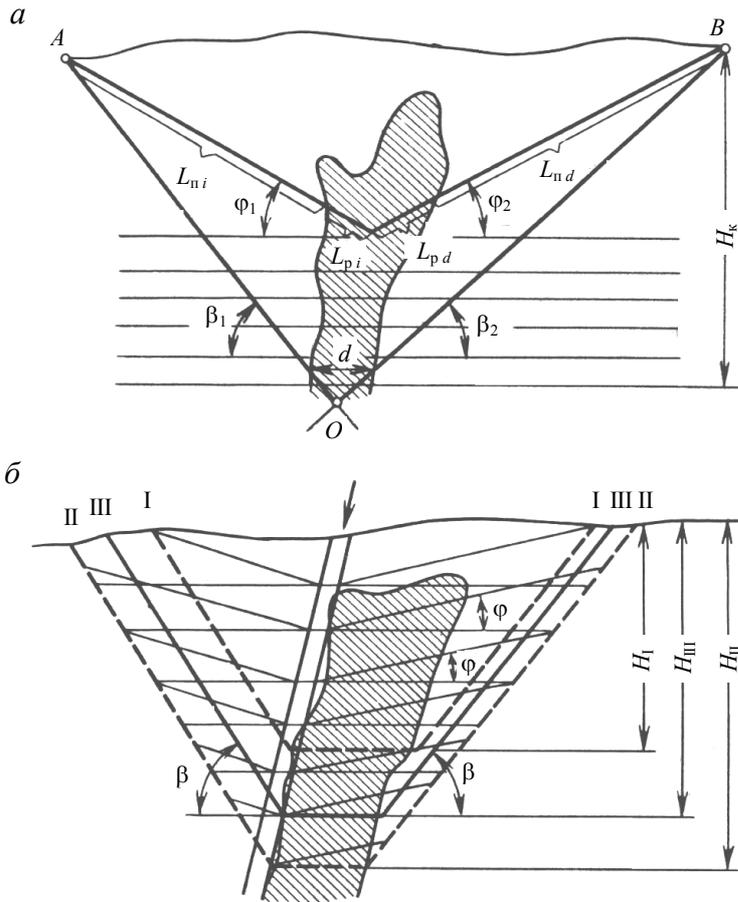


Рис.6. Схемы к определению конечной глубины карьера по принципу $n_r \geq n_r$ (а) и $n_r \geq n_{cp}$ (б)

Допустим, по первому варианту глубина занижена, т.е. $n_r > n_0 + n$, тогда принимают вариант II границ (H_2 на рис.6, б). Если $n_r < n_0 + n$, то для определения границ, отвечающих $n_r = n_0 + n$, применяют графическую интерполяцию.

Основной наиболее удобного метода – *использования допустимого среднего коэффициента* вскрыши является уравнение

$$n_{ср q} = \frac{n_{\Gamma}}{\lambda - \mu(\lambda - 1)}, \quad (11)$$

где $n_{ср q}$ – допустимый средний коэффициент вскрыши, м³/м³.

Из всех поперечных разрезов выбирается наиболее характерный (или средневзвешенный) и на нем с помощью графика $V = f(P)$ для ориентировочно взятой конечной глубины карьера устанавливаются значения коэффициентов λ и μ (подобное допущение возможно, так как исследования показали, что коэффициент λ мало зависит от глубины карьера, а коэффициент μ незначительно влияет на величину $n_{ср q}$). Для надежности λ умножается на поправочный коэффициент 1,1. По полученным значениям λ и μ и формуле (11) определяется допустимый средний коэффициент вскрыши.

На каждом поперечном разрезе строятся конечные контуры карьера для различных значений глубины и подсчитываются средние коэффициенты вскрыши. Полученные $n_{ср}$ сравниваются с допустимым средним коэффициентом вскрыши $n_{ср q}$. Глубина карьера, на которой $n_{ср} = n_{ср q}$, считается конечной.

Аналитический метод имеет большое теоретическое значение, так как позволяет в математической форме установить основные взаимосвязи между параметрами карьера. На практике он может быть применен только в условиях правильной формы залежи полезного ископаемого и равнинного рельефа.

1.2.5. Нивелирование дна карьера на продольном профиле и корректирование границ на поперечных профилях

Независимо от применявшегося принципа оконтуривания следующим этапом работ после установления границ на поперечных разрезах является нивелирование дна карьера, так как на каждом разрезе отметка дна может быть различной из-за изменения мощности залежи. Для этого строят вертикальную продольную проекцию залежи полезного ископаемого и на нее наносят линии поперечных разрезов с полученными отметками дна (соединены пунктирной линией на рис.7, *a*). Затем устанавливают единую усредненную отмет-

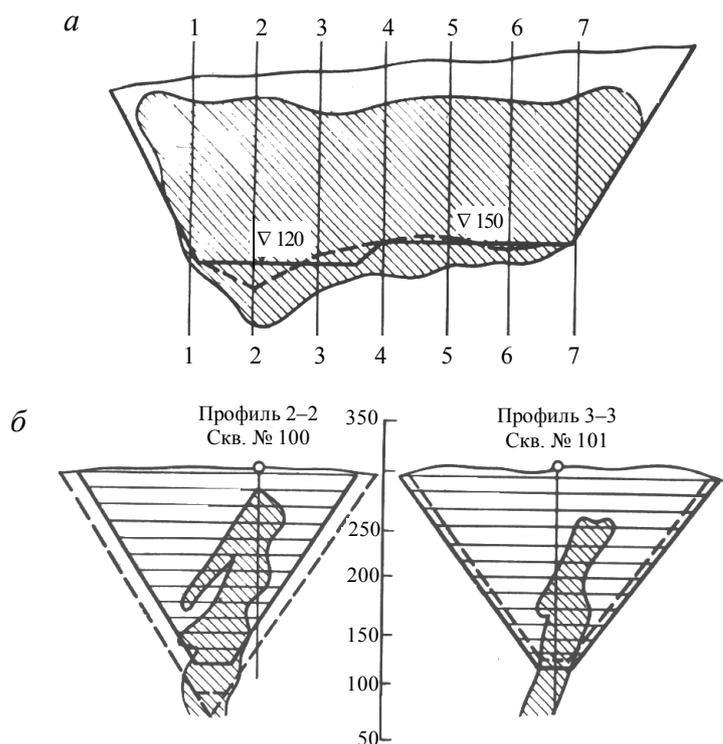


Рис.7. Схемы к выравниванию дна карьера: *a* – продольный профиль; *б* – поперечные профили; пунктирная линия – расчетный контур карьера; сплошная линия – откорректированный контур карьера

ку дна для всего карьера (или для отдельных его частей) и по ней отстраивают новое дно (сплошная линия на рис.7, *а*).

При выравнивании необходимо соблюдать правило, согласно которому запасы, прирезаемые к расчетному контуру (пунктирная линия на рис.7, *а*), должны быть ориентировочно равны запасам, отрезаемым от него.

Принятая усредненная отметка дна карьера переносится на поперечные профили, согласно ей корректируются расчетные границы (рис.7, *б*).

Если амплитуда изменения отметок дна по разрезам велика, то карьер разделяют по длине на несколько частей, для каждой из которых устанавливается своя усредненная отметка ($\nabla 120$ и $\nabla 150$ на рис.7, *а*). Каждая из таких частей должна иметь длину, обеспечивающую нормальное ведение работ по вскрытию, разработке и расположению транспортных коммуникаций (не менее 200 м).

1.2.6. Построение плана карьера на конец отработки без схемы вскрытия

После нивелирования дна приступают к построению плана карьера на конец отработки.

На откорректированные в соответствии с принятой отметкой дна карьера поперечные разрезы (рис.7, *б*) наносят линии горизонтов с интервалом по вертикали, равным высоте уступа в конечном положении, до пересечения с бортами карьера. Точки пересечения соответствуют бровке уступа (обычно нижней). За начальную отметку горизонтов принимается минимальная отметка точки на периметре карьера по земной поверхности. Все горизонты от начальной отметки до дна являются горизонтами замкнутого контура карьера. Все горизонты, распространяющиеся от начальной отметки вверх, составляют нагорную часть карьера.

Топографический план поверхности участка месторождения, подлежащего разработке, снимают на кальку и наносят на него линии поперечных разрезов 1-1, 2-2 и т.д. (рис.8, *а*). На поперечных разрезах выбирают опорные линии, имеющие привязку к государственной

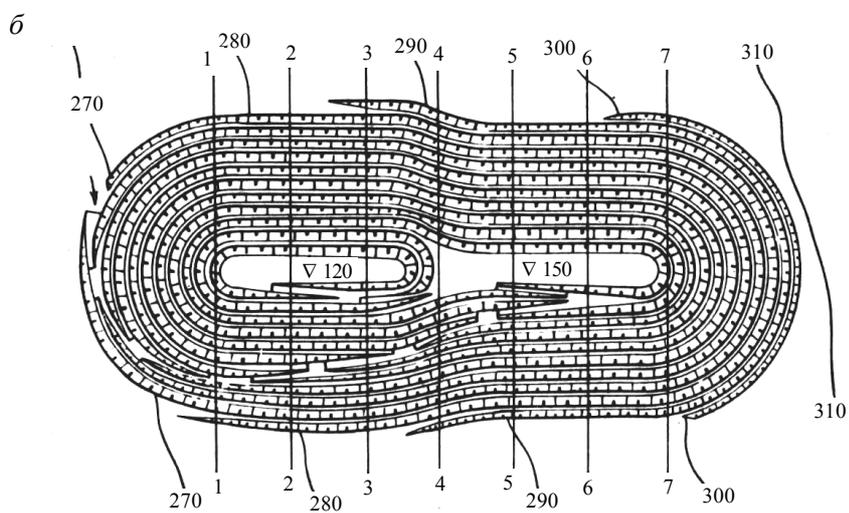
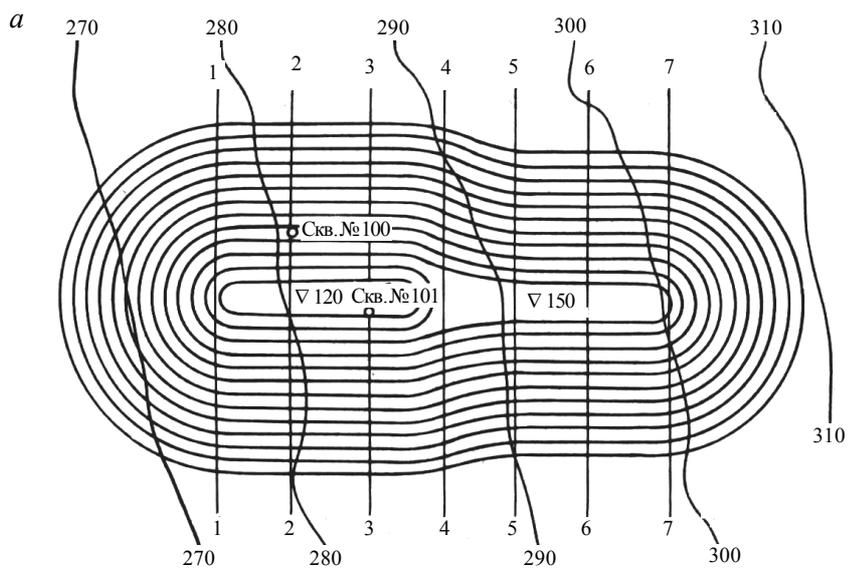


Рис. 8. План карьера на конец отработки: *a* – выраженный нижними бровками уступа; *б* – в окончательном виде со схемой вскрытия

топогеодезической основе (например, геологические скважины, магистральные линии по простиранию залежей) и наносят их на линии разрезов на плане (рис.8, а).

На поперечных разрезах (см. рис.7, б) измеряют отрезки от опорной линии до места встречи линии каждого горизонта с конечными бортами и делают засечки на соответствующих линиях разрезов на плане. Затем засечки с одинаковыми высотными отметками на всех линиях разрезов на плане соединяют между собой и таким образом получают план карьера на конец отработки, представленный нижними бровками уступов, находящихся в конечном положении (рис.8, а). Отстроив заложение уступов и бермы безопасности, получают окончательно карьер в отработанном виде без схемы вскрытия.

1.2.7. Абсолютные и относительные показатели конечных границ карьеров

Построение границ карьеров (реализация факторов, формирующих конечные борты и границы карьеров) сопровождается изменением абсолютных и относительных карьерных показателей. К абсолютным показателям относятся объемы полезного ископаемого P , вскрышных пород V и горной массы Q в конечных контурах карьера; к относительным – контурный n_k и средний $n_{ср}$ коэффициенты вскрыши в тех же контурах.

Для оценки уровня и знака влияния факторов на границы и борты карьеров рассмотрим схематичный поперечный разрез (рис.9 - в конце пособия), на котором демонстрируется построение границ, а уровень и знак влияния каждого фактора приводится в табл.3.

Для построения разреза и конечных контуров были приняты следующие горно-геологические и технико-технологические исходные данные: мощность залежи $M = 43$ м; угол падения $\gamma = 70^\circ$; граничный коэффициент вскрыши $n_r = 12 \text{ м}^3/\text{м}^3$; углы откосов бортов карьера $\beta = 45^\circ$; высота уступов в конечном положении $h = 30$ м; угол откосов уступов в конечном положении $\alpha = 60^\circ$; ширина съездов

Таблица 3

Факторы, формирующие контуры, и их влияние на карьерные показатели

Обозначения	Фактор				Элементы и параметры борта		Показатели, изменяющиеся с учетом факторов						
	Название	Описание	Уровень влияния	Знак влияния	Параметр	Интервал изменения	$n_{к, 3}$ М ³ /М ³	$n_{ср, 3}$ М ³ /М ³	$V, \text{м}^3$	$P, \text{м}^3$	$Q, \text{м}^3$	$H_{к, \text{м}}$	$H_y, \text{м}$
I	Граничный коэффициент n_r . Угол откоса β	Строятся условные линейные контуры карьера по одному из принципов оконтуривания (рассматриваемый пример $n_r \geq n_k$)	$Q = \frac{H_y^2 (\text{tg}\beta_{л} + \text{tg}\beta_{п})}{2\text{tg}\beta_{л} \text{tg}\beta_{п}}$ $P = MH_y - \frac{M^2 \text{tg}\beta_{л} \text{tg}\beta_{п}}{2(\text{tg}\beta_{п} + \text{tg}\beta_{л})}$	+	Угол откоса борта β , град	20-55 (45)	12	5,76	66564	11556	78120	279,5	–
II	Бермы безопасности $\delta_{п}$	Проверяется угол β на условие обеспечения нормативных (расчетных) берм безопасности. При необходимости угол откоса борта уменьшается до значения β'	$\beta = \text{arccctg} \left(\frac{\delta_{п}}{h} + \text{ctg}\alpha \right);$ $\Delta V^I = \frac{H_y^2 (\text{ctg}\beta' + \text{ctg}\beta)}{2}$	+	Расчетная (нормативная) ширина бермы $\delta_{п, \text{м}}$	3,4-13,4 (10)	12	5,76	66564	11556	78120	279,5	–

Фактор				Элементы и параметры борта		Показатели, изменяющиеся с учетом факторов							
Обозначения	Название	Описание	Уровень влияния	Знак влияния	Параметр	Интервал изменения			$V, \text{ м}^3$	$P, \text{ м}^3$	$Q, \text{ м}^3$	$H_k, \text{ м}$	$H_y, \text{ м}$
							$n_k, \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$	$n_{cp}, \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$					
III	Конструкция поуступного борта	Строится дно и поуступный конечный борт с углами β и β'	$\Delta V^{\text{II}} = \frac{hH_k(\text{ctg}\beta' - \text{ctg}\alpha)}{2};$ $\Delta P = \frac{d^2 \text{tg}\beta_{\text{л}} \text{tg}\beta_{\text{п}}}{2(\text{tg}\beta_{\text{л}} + \text{tg}\beta_{\text{п}})}$	-	Высота уступа $h, \text{ м}$	10-40 (30)	11,8	5,66	64866	11456	76322	-	269,5
IV	Схема вскрытия	В конечном поуступном борту карьера строится капитальное вскрытие	$\Delta V_{\text{лб}}^{\text{III}} = b_c \left(L'_{\text{пс}i} + \sum_{j=1}^m h_j \right)$ $\Delta V_{\text{пб}}^{\text{III}} = b_c \left(L'_{\text{пс}i} + \sum_{j=1}^m h_j \right)$ $\Delta V^{\text{III}} = \Delta V_{\text{лб}}^{\text{III}} + \Delta V_{\text{пб}}^{\text{III}}$	+	Ширина съезда $b_c, \text{ м}$	16-29 (29)	13,4	6,45	73943	11456	85399	-	269,5
V	Транспортные бермы $\delta_{\text{т}}$	По конечному поуступному борту строятся транспортные бермы	$\Delta V^{\text{IV}} = \sum_{i=1}^m (\delta_{\text{т}} - \delta_{\text{п}}) H_{\text{т}i}$	+	Ширина транспортной бермы $\delta_{\text{т}}, \text{ м}$	16-29	-	-	-	-	-	-	269,5

в системе капитального вскрытия $b_c = 29$ м; уклон съездов $i = 8$ %, ширина берм безопасности $\delta_n \geq h/3$. Оконтуривание выполнено по принципу приравнивания граничного коэффициента вскрыши контурному $n_T \geq n_K$ (наиболее распространенному в современной проектной практике).

Влияние каждого фактора в отдельности по мере реализации в аналитическом и объемном виде показано в табл.3. Суммарное влияние факторов ΔV выражается зависимостью:

$$\begin{aligned} \Delta V &= \Delta V^I - \Delta V^{II} + \Delta V^{III} + \Delta V^{IV} = \\ &= \frac{H_K^2 (\operatorname{ctg} \beta' - \operatorname{ctg} \beta) - h H_K (\operatorname{ctg} \beta' - \operatorname{ctg} \alpha)}{2} + \\ &+ b_c \left(L'_{п.с} i_c + \sum_{j=1}^m h_j \right) + h (\delta_T - \delta_n) \sum_{i=1}^n k_i, \end{aligned} \quad (12)$$

где ΔV^I , ΔV^{II} , ΔV^{III} , ΔV^{IV} – уровень и знак влияния соответственно берм безопасности, построения поуступных бортов, построения схемы вскрытия и транспортных берм, м³; H_K – конечная глубина карьера, м; h – высота уступов, м; α – угол откоса уступа, град; b_c – ширина съездов, м; $L'_{п.с}$ – горизонтальная проекция съезда; δ_n – ширина берм безопасности; δ_T – ширина транспортных берм, м; $j = 1, 2, \dots, m$ – число уступов при отсчете от поверхности до местоположения съездов; k_i – номера уступов от поверхности, на которых расположены транспортные бермы; $i = 1, 2, \dots, n$ – номера уступов от поверхности.

При равенстве углов $\beta' = \beta$, т.е. когда на конструктивном борту бермы безопасности δ_n равны расчетным (нормативным) и не требуется выполаживание угла откоса конечного борта β до значения β' , выражение (12) примет вид:

$$\Delta V = b_c \left(L'_{п.с} i_c + \sum_{j=1}^m h_j \right) - \frac{hH_k (\operatorname{ctg} \beta' - \operatorname{ctg} \alpha)}{2} + h (\delta_T - \delta_n) \sum_{i=1}^n k_i. \quad (13)$$

Относительные карьерные показатели получили следующую аналитическую интерпретацию. Контурный коэффициент имеет вид:

$$n_k = \frac{H_y (\operatorname{tg} \beta_n + \operatorname{tg} \beta_n)}{M \operatorname{tg} \beta_n \operatorname{tg} \beta_n} - 1. \quad (14)$$

При равенстве углов $\beta_n = \beta_n = \beta$:

$$n_k = \frac{2H_y}{M \operatorname{tg} \beta} - 1. \quad (15)$$

Средний коэффициент вскрыши:

$$n_{cp} = \frac{[H_y (\operatorname{tg} \beta_n + \operatorname{tg} \beta_n) - M \operatorname{tg} \beta_n \operatorname{tg} \beta_n]^2}{m \operatorname{tg} \beta_n \operatorname{tg} \beta_n [2H_y (\operatorname{tg} \beta_n + \operatorname{tg} \beta_n) - M \operatorname{tg} \beta_n \operatorname{tg} \beta_n]}. \quad (16)$$

При равенстве углов на бортах, т.е. при $\beta_n = \beta_n = \beta$, выражение (16) примет вид:

$$n_{cp} = \frac{(2H_y \operatorname{tg} \beta - M \operatorname{tg}^2 \beta)^2}{M \operatorname{tg}^3 \beta (4H_y - M \operatorname{tg} \beta)}. \quad (17)$$

Изменение относительных показателей в результате реализации факторов, формирующих границы карьеров, приведено в табл.3.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что абсолютные и относительные показатели надежно и корректно отражают изменения, происходящие в карьерном пространстве при формировании конечных бортов. При этом контурный коэффициент отражает экономическую целесообразность контуров, а средний – перспективу отработки месторождения. Аналитическая интерпретация коэффициентов при необходимости может быть положена в основу корректирования конечных границ для учета влияния указанных факторов.

1.2.8. Трассирование схемы капитального вскрытия

Для построения схемы капитального вскрытия на плане карьера (см. рис.8, *a*) отстраивают заложения откосов уступов и бермы безопасности, а затем трассируют схему капитального вскрытия, под которым понимается обеспечение грузотранспортной связи оконтуренной части месторождения с пунктами приема полезного ископаемого (бункеры перерабатывающих заводов, склады) и вскрышных пород (отвалы), заключающееся в проведении вскрывающих горных выработок и расположении в них транспортных коммуникаций.

Около 62 % российских карьеров, обрабатывающих наклонные и крутые залежи, вскрыто системами открытых горных выработок (траншеями, съездами), остальные – комбинацией открытых и подземных выработок (стволы, штольни).

Места расположения вскрывающих выработок (схемы вскрытия) выбираются с учетом принятого направления развития горных работ, рельефа поверхности, а реализация вариантов вскрытия должна обеспечивать соблюдение следующих условий: минимальные объемы горно-капитальных работ и сроки строительства карьера, наименьшее расстояние транспортирования грузов до фабрики и отвалов, рациональное развитие горных работ, безопасность транспортирования горной массы. Окончательный вариант вскрытия принимается на основе тщательного технико-экономического сравнения.

Исходными данными для трассирования, а затем построения схемы вскрытия являются: ширина съездов в соответствии с принятым технологическим транспортом и нормами технологического проектирования, уклон съездов, параметры площадки примыкания, системы расположения съездов – поступательная, спиральная, тупиковая, петлевая, комбинированная (наиболее распространенная).

Трассирование схемы капитального вскрытия начинается с точки предполагаемого выхода системы вскрывающих выработок на поверхность на конечном контуре карьера, а затем следует вниз к принятым донным участкам карьера.

Строительство схемы капитального вскрытия осуществляется снизу вверх от дна карьера к точкам предполагаемого выхода

трассы на земную поверхность (на конечный контур карьера). Конечный результат построения вскрытия – план карьера на конец отработки со схемой вскрытия – показан на рис.8, б.

Изложенный порядок трассирования и построения капитального вскрытия используется проектными организациями при составлении проектов на разработку вытянутых крутопадающих месторождений открытым способом.

При построении схемы вскрытия, как правило, требуется дополнительный разнос бортов карьера, на которых она расположена. По этой причине в карьер вовлекаются дополнительные объемы вскрышных пород при сохранении запасов полезного ископаемого, что лишает конечные контуры экономической целесообразности.

1.2.9. Оценка уровня и учет влияния капитального вскрытия

Первоначальное оконтуривание (фактор I, рис.9) определило абсолютные и относительные показатели, приведенные в табл.3.

Бермы безопасности (фактор II, см. табл.3) обеспечиваются расчетным углом откоса конечного борта. Показатели сохраняют свои значения. Оформление поуступного борта (фактор III) незначительно сокращает в конечных контурах значения абсолютных и относительных показателей.

Самые внушительные изменения в контуре первоначального оконтуривания с поуступным оформлением бортов происходят при построении схемы капитального вскрытия (фактор IV) системой поступательных (комбинированных) съездов на обоих бортах карьера (на правом борту съезд обеспечивает грузотранспортную связь третьего горизонта конечного борта отн. ∇ -90 м с четвертым горизонтом отн. ∇ -120 м; на левом борту – шестого горизонта отн. ∇ -180 с седьмым отн. ∇ -210 м).

Подобное вскрытие имеет место при расположении пунктов приема полезного ископаемого (фабрик) и вскрышных пород (отвалов) на противоположных бортах. Углы откосов конечных бортов выположились до значения $\beta' = 41^{\circ}40'$. Объемы вскрышных пород и значения контурного и среднего коэффициентов увеличились на

14 % при неизменных запасах полезного ископаемого. Вполне естественно в такой же степени снизилась экономическая целесообразность контуров и эффективность ведения в них открытых горных работ. Последнее подтверждается рассмотрением влияния капитального вскрытия в динамике, т.е. каким образом объемы вскрышных пород, вовлеченные в контур карьера вскрытием, распределяются в пространстве и времени при ведении горных работ. С этой целью в контурах запроектированного карьера (рис.9) планировалось ведение горных работ с направлением углубки по висячему боку залежи (линия qf) уступами высотой 15 м с углом откоса 70° , шириной рабочих площадок 50 м, углом откоса рабочего борта $\varphi = 15^\circ$ и подготовкой горизонтов траншеями шириной по дну 30 м.

Ведение горных работ рассматривалось на глубину одиннадцати уступов (165 м). Положения горных работ на момент достижения каждого горизонта отстраивались условными откосами рабочих бортов, выполненными по нижним бровкам рабочих уступов (штриховые линии). Конечные борта карьера без схемы вскрытия (мелкие штрихи) и со схемой вскрытия (жирная сплошная линия) выполнены поуступно. Извлекаемые объемы полезного ископаемого P_6, P_c, P_k и вмещающих пород V_6, V_c, V_k при разных моделях конечных бортов приведены в табл.4.

Как видно из табличного (табл.4) и графического (рис.10) представления объемов, влияние капитальной схемы вскрытия карьера на увеличение извлекаемых объемов вскрышных пород начинается в период выхода рабочих бортов на конечные борта карьера на поверхности (подготовка гор.4), достигая максимального абсолютного значения по извлекаемым объемам при подготовке гор.8, что составляет 20 % от всего объема извлекаемых вскрышных пород, когда борт смоделирован без схемы вскрытия, т.е. по расчетному конечному углу β , использовавшемуся при оконтуривании карьера.

Максимальное влияние вскрытия в относительном (процентном) выражении (25,2 %) имеет место при подготовке гор.10, когда более чем на четверть увеличиваются извлекаемые объемы за счет построения схемы вскрытия. Вполне естественно, что в этот период в таком же соотношении увеличится себестоимость полезного ископаемого.

Таблица 4

Текущие объемы полезного ископаемого и вскрыши в контурах карьера

Горизонт подготовки	Извлекаемые объемы в контурах									Влияние схемы вскрытия	
	Без схемы вскрытия			Со схемой вскрытия			Откорректированных			$V_c - V_6, \text{ м}^3$	$\frac{V_c - V_6}{V_6}, \%$
	P_6	V_6	n_6	P_c	V_c	n_c	P_k	V_k	n_k		
1	369,5	944	2,38	396,5	944	2,38	396,5	944	2,38	0	0
2	650	2281	3,51	650	2281	3,51	650	2281	3,51	0	0
3	650	3986	6,13	650	3986	6,13	650	3986	6,13	0	0
4	650	5674	8,73	650	5713	8,79	650	5713	8,79	39	0,7
5	650	6778	10,43	650	7191	11,06	650	6924	10,65	413	6,0
6	650	7062	10,86	650	7971	12,26	650	6880	10,58	909	12,9
7	650	5993	9,22	650	7102	10,93	650	6172	9,49	1109	18,5
8	650	5779	8,89	650	6938	10,67	650	5559	8,55	1159	20,0
9	650	5157	7,93	650	6293	9,68	650	4992	7,68	1136	22,0
10	650	4432	6,82	650	5549	8,54	650	4043	6,22	1117	25,2
11	650	3405	5,24	650	4047	6,23	650	3088	4,75	642	18,8

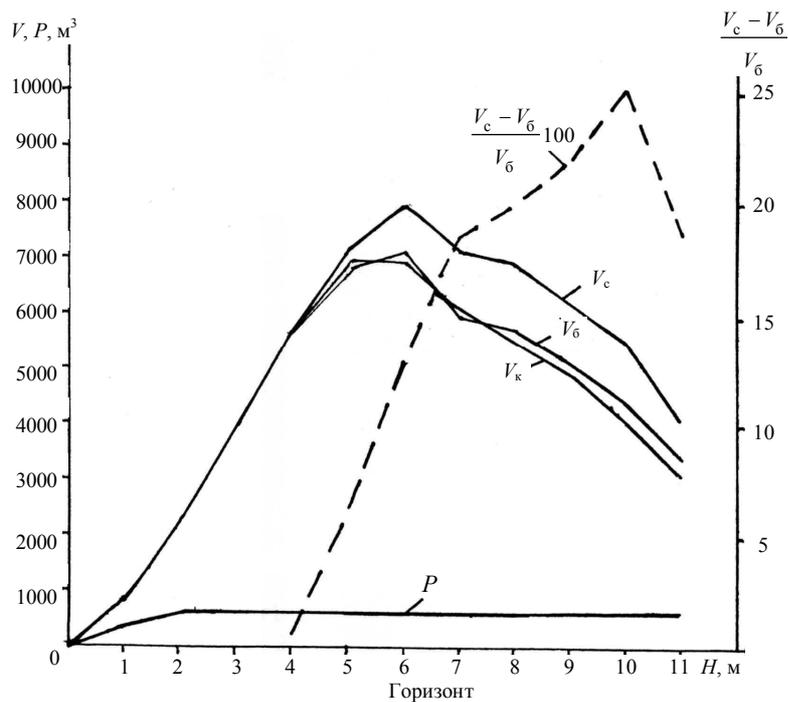


Рис.10. Извлекаемые объемы полезного ископаемого P и вмещающих пород V при различных моделях конечных бортов

Более того, из табл.4 и рис.10 видно, что прирост объемов за счет схемы вскрытия и соответствующий рост текущего коэффициента вскрыши и себестоимости удерживается на уровне 18-25 % за период понижения горных работ на глубину 75 м (горизонты 7, 8, 9, 10, 11). Есть основания полагать, что тенденция сохранится до конца отработки карьера, так как при вскрытии и подготовке гор.11 горные работы уже вышли из зоны влияния вскрытия по правому борту, однако по левому борту вскрытие обеспечило увеличение объемов пород, текущего коэффициента и себестоимости руды на 18 % и, судя по перспективе развития горных работ на разрезе, оснований к снижению влияния вскрытия нет.

Из рассмотрения влияния вскрытия в динамике следует весьма важный вывод, объясняющий в значительной степени проблемы крупных глубоких карьеров, когда выполнение планируемых объемов вскрышных работ без учета влияния капитального вскрытия приводило к сокращению добычи даже на карьерах с достаточно благоприятными условиями (невысокий средний коэффициент вскрыши).

В общем виде учесть влияние вскрытия в динамике в процессе эксплуатации карьера можно по зависимости, полученной из рис.11,

$$V_d = h_r(2H_k + h_r)(\text{ctg}\beta' - \text{ctg}\beta) \times \frac{[1 + (\text{ctg}\beta' - \text{ctg}\beta)(\text{ctg}\beta' + \text{ctg}\phi)\sin^2\phi]}{2}, \quad (18)$$

где V_d – объем пород, вовлеченных в конечные контуры построением системы капитального вскрытия за рассматриваемый период, м³ (размерность предполагает распространение рассматриваемого сечения на 1 м по простиранию карьера); h_r – величина понижения горных работ за рассматриваемый период, м; H_k и $H_k + h_r$ – высота от дна карьера до точки встречи рабочего и конечного (без схемы вскрытия) бортов на конец и начало рассматриваемого периода соответственно, м; β , β' , ϕ – углы откосов конечного борта без схемы вскрытия, со схемой вскрытия и рабочего борта соответственно, град.

Графическое отражение динамики вовлечения объемов V_d во время эксплуатации карьера представлено штриховой линией на рис.10.

Для обретения границами экономической целесообразности на уровне граничного коэффициента вскрыши и обеспечения рентабельного ведения открытых работ необходимо изменить глубину карьера H_y . Как известно, важнейшими из горно-геологических, технико-технологических и экономических факторов, определяющих глубину карьера, являются горизонтальная мощность залежи M , углы откосов конечных бортов β_d и β_n и граничный коэффициент вскрыши n_r .

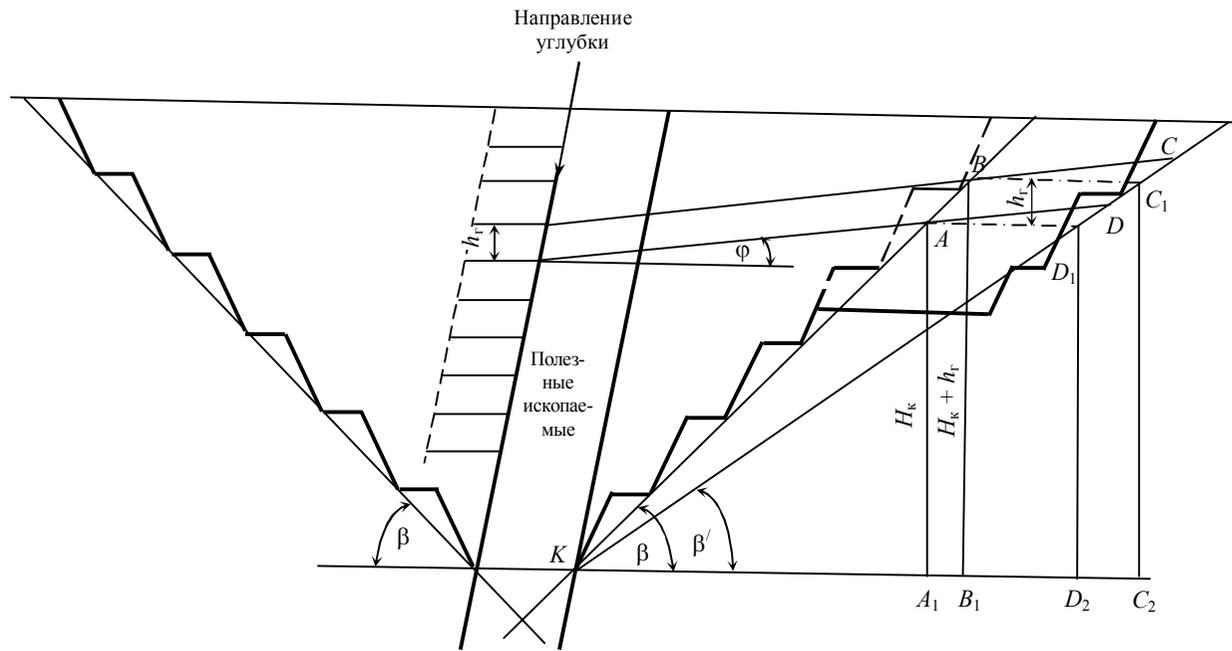


Рис.11. Учет влияния вскрытия в процессе эксплуатации карьера

Взаимосвязь H_y с указанными факторами может быть представлена зависимостями:

$$H_y = \frac{M \operatorname{tg} \beta_{\text{л}} \operatorname{tg} \beta_{\text{п}} (n_{\text{к}} + 1)}{\operatorname{tg} \beta_{\text{л}} + \operatorname{tg} \beta_{\text{п}}}; \quad (19)$$

при $\beta_{\text{л}} = \beta_{\text{п}} = \beta$

$$H_y = \frac{M \operatorname{tg} \beta (n_{\text{к}} + 1)}{2}. \quad (20)$$

Выражения (19) и (20) являются аналитическим аппаратом корректирования глубины карьера при изменении мощности залежи или изменении углов откосов конечных бортов. В этих зависимостях при определении глубины H_y рассматриваемый фактор выступает как аргумент при постоянных значениях прочих входящих величин.

Учет влияния вскрытия при определении границ карьеров предопределяет совместное рассмотрение большого количества изменяющихся параметров и показателей. По этой причине наряду с аналитическим аппаратом целесообразен номографический метод графического отображения функциональных зависимостей, позволяющий с наименьшими трудозатратами решать проектные задачи.

График $H_y = f(M)$ составляет левый верхний квадрант номограммы на рис.12. Зависимость $H_y = f(M)$ представляет собой функцию вида $y = ax$, где $x = M$; a – коэффициент,

$$a = \frac{\operatorname{tg} \beta_{\text{л}} \operatorname{tg} \beta_{\text{п}} (n_{\text{к}} + 1)}{\operatorname{tg} \beta_{\text{л}} + \operatorname{tg} \beta_{\text{п}}},$$

значения $\beta, n_{\text{к}}$ – постоянны и соответствуют значениям на рис.9.

Взаимосвязь глубины карьера с углом откоса конечного борта $H_y = f(\beta)$ при прочих неизменных условиях, т.е. при постоянном контурном (граничном) коэффициенте и мощности залежи, исследовалась по зависимости (20), где в качестве независимой переменной выступал угол β ($\beta = \beta_{\text{л}} = \beta_{\text{п}}$), а значения всех остальных элементов, входящих в выражение, оставались постоянными ($M = 43$ м;

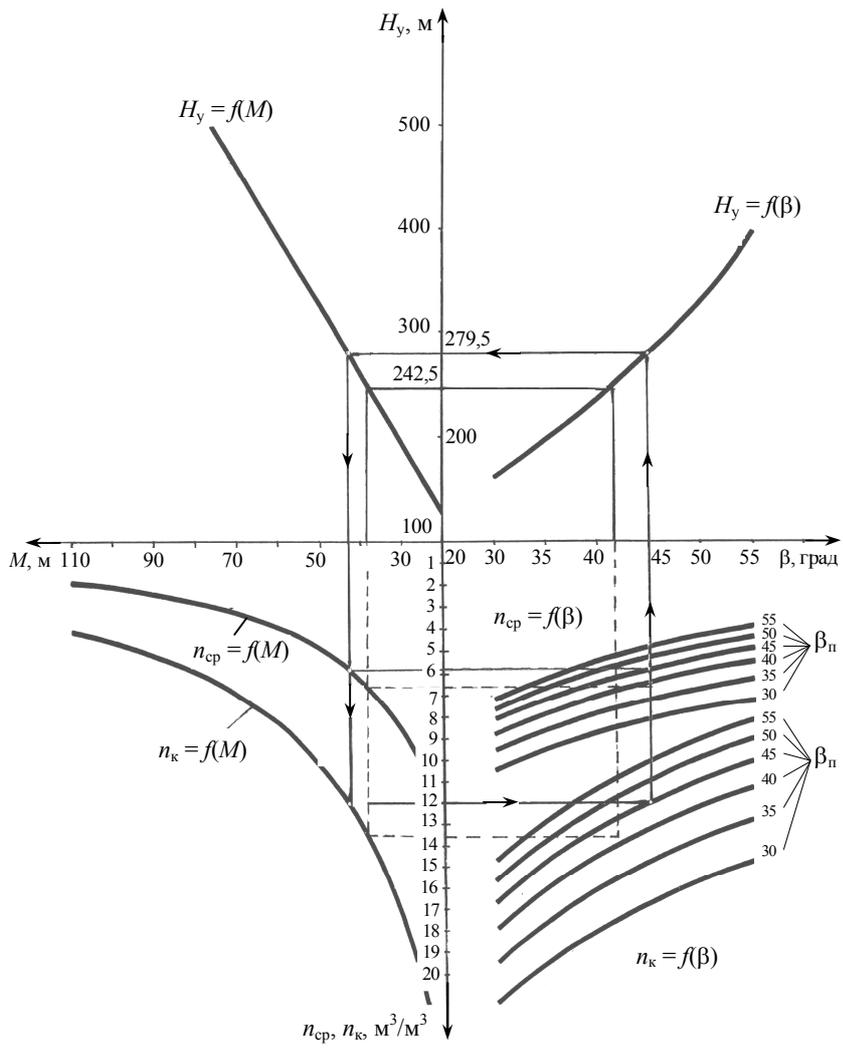


Рис.12. Номограмма корректирования границ карьера с учетом влияния капитального вскрытия

$n_k = n_r = 12 \text{ м}^3/\text{м}^3$). Угол β изменялся в нормативном интервале от 30 до 55° с шагом в один градус. Полученные результаты составили правый верхний квадрант номограммы. Как видно из рис.12, графическая интерпретация взаимосвязи H_y и β нелинейна.

Правую нижнюю часть номограммы составляют графики функций $n_k, n_{cp} = f(\beta)$, полученные при установлении взаимосвязи относительных показателей карьера с горно-геологическими и технико-технологическими факторами. Ось абсцисс при этом общая с правой верхней частью номограммы, а n_k и n_{cp} откладываются по отрицательной ветви оси ординат. Семейства кривых n_k и n_{cp} отвечают различному сочетанию значений углов откосов противоположных конечных бортов.

В нижнем левом квадранте представлено изменение контурного и среднего коэффициентов вскрыши в зависимости от изменения мощности залежи $n_k, n_{cp} = f(M)$. Ось абсцисс общая с графиком $H_y = f(M)$, ось ординат – с $n_k, n_{cp} = f(\beta)$. Таким образом номограмма замкнулась.

Корректность построения и пригодность к использованию номограммы демонстрируется сходимостью исходных данных, объемных, линейных и относительных показателей карьера, оконтуренного на разрезе (см. рис.9) и послужившего базой для теоретических изысканий по учету влияния капитального вскрытия в методах определения границ карьеров. Исходные и расчетные данные по карьере: мощность залежи $M = 43 \text{ м}$; углы откосов бортов $\beta = \beta_l = \beta_n = 45^\circ$, граничный и контурный коэффициенты $n_k = n_r = 12 \text{ м}^3/\text{м}^3$; расчетная глубина карьера $H_y = 279,5 \text{ м}$; глубина карьера с построенным дном $H_k = 269,5 \text{ м}$. В соответствии с оконтуренными запасами полезного ископаемого и объемами вмещающих пород средний коэффициент вскрыши $n_{cp} = 5,76 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Линия со стрелками, связывающая исходные и расчетные данные по карьере, является ключом номограммы. При этом следует отметить, что верхняя часть номограммы служит для корректировки

глубины открытых работ, а нижние квадранты свидетельствуют об изменении относительных показателей карьера с изменением исходных данных M и β . Кроме того, верхняя часть номограммы свидетельствует об адекватности влияния на глубину карьера мощности залежи и углов откосов конечных бортов в определенных условиях (например, в рассматриваемом случае при одном и том же значении граничного коэффициента $n_r = 12 \text{ м}^3/\text{м}^3$).

Построение схемы вскрытия (см. рис.9) выложило конечный угол откоса β до значения $\beta' = 41^\circ 40'$. В соответствии с изменением значений углов откосов конечных бортов на номограмме определяется новая глубина карьера. На оси абсцисс из точки со значением угла $\beta' = 41^\circ 40'$ восстанавливается перпендикуляр до кривой $H_y = f(\beta)$. Из точки встречи проводим прямую, параллельную оси абсцисс до оси ординат (H_y). В точке пересечения считываем новое значение глубины карьера $H_y' = 248,5 \text{ м}$, при которой, как подтвердили расчеты, восстановилась экономическая целесообразность границ, т.е. при новых объемах P , V и Q средний коэффициент $n_{cp} = 5,76 \text{ м}^3/\text{м}^3$, а контурный $n_r = 12 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Такие же результаты получаем, используя аналитические зависимости (13), (14), (15), (16). Если на номограмме проложить прямую от оси ординат из точки $H_y' = 248,5$ до встречи с графиком $H_y = f(M)$, а затем до оси абсцисс, то получим значение мощности $M = 38 \text{ м}$ с тем же значением глубины карьера. Таким образом, при необходимости можно определить новую глубину по мощности залежи, а следуя обратным ходом, по ключу получить допустимое значение углов откосов бортов в этом случае.

Таким образом, подтвердилась корректность предлагаемой номограммы для корректирования границ карьеров с целью учета влияния капитального вскрытия.

Следует отметить, что при различных значениях углов откосов на конечных противоположных бортах новое значение глубины карьера необходимо определять по зависимости (19).

Для разработки аналитического и номографического аппарата корректирования конечной глубины карьера использовались достаточно выдержанные по горно-геологическим условиям (мощности, углу падения и т.д.) залежи, что может породить сомнения использования их в более сложных условиях. Практика проектирования и научных исследований показала, что для любого крутопадающего месторождения или его частей может быть выделен средний, характерный или построен средневзвешенный разрез (профиль). Для этого профиля (профилей) будут справедливы предложенные зависимости и разработанный метод построения конечного экономически целесообразного контура карьера со схемой вскрытия.

Следует обратить внимание также на весьма важное положение методов определения границ карьеров. После оконтуривания месторождения на поперечных разрезах осуществляют нивелирование дна карьера на продольном профиле месторождения на основе донных отметок поперечных профилей. При этом в результате нивелирования может быть получено общее карьерное дно или несколько участков с различными отметками при наличии существенного различия мощности залежи и, естественно, глубины карьера на поперечных профилях. Таким образом, при нивелировании дна по карьере в целом или на отдельных участках мы усредняем горизонтальную мощность залежи. Это также является достаточно веским обоснованием корректности применения предлагаемого метода корректирования границ карьера в невыдержанных горно-геологических условиях строения вытянутого крутопадающего (наклонного) месторождения.

Рекомендации по учету капитального вскрытия при определении границ карьеров могут считаться универсальными, если будут справедливы во всем многообразии форм залегания месторождений (вытянутой, массивной, столбообразной), а также при новых, используемых в проектной практике примерах оконтуривания.

1.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ КАРЬЕРОВ, ОТРАБАТЫВАЮЩИХ СТОЛБООБРАЗНЫЕ ЗАЛЕЖИ

1.3.1. Оконтуривание карьеров на месторождениях столбобразной формы

Столбобразная или массивная форма присуща месторождениям железорудным, цветных металлов, химического сырья, строительных горных пород. Карьеры, отрабатывающие такие месторождения, имеют, как правило, округлую форму.

Для карьеров округлой формы в проектной практике используется методика оконтуривания, согласно которой контурный коэффициент вскрыши определяется из выражения

$$n_k = \frac{S_0}{S_p} - 1, \quad (21)$$

где S_0 – площадь карьера по поверхности в плане, м^2 ; S_p – горизонтальная площадь полезного ископаемого на глубине H_0 , где борта карьера входят в рудную зону, м^2 .

Оконтуривание сводится к отысканию методом вариантов такой глубины H_0 , где контурный коэффициент, определяемый из выражения (21), равен граничному коэффициенту вскрыши. Затем без разноса бортов производится углубление карьера под углами устойчивости β до некоторой глубины H_k , на которой обеспечиваются минимальные линейные размеры дна. Эта глубина и принимается в качестве конечной глубины карьера. Затем в проектной практике приступают к поуступному оформлению бортов, трассированию схемы капитального вскрытия и ее построению на плане карьера на конец отработки. Однако при этом, как и в случае вытянутых залежей, не учитывается отрицательное влияние капитального вскрытия на конечные контуры.

1.3.2. Учет влияния капитального вскрытия при оконтуривании карьеров на месторождениях округлой формы

На рис.13 приведен карьер, отрабатывающий месторождение столбообразной формы. При мощности (диаметре) залежи $M = 100$ м, угле падения залежи $\gamma = 70^\circ$, углах откосов конечных бортов $\beta = 45^\circ$, $R = 300$ м, $n_r = 35 \text{ м}^3/\text{м}^3$ глубина карьера составила $H_0 = 250$ м, $H_y = 300$ м и $H_k = 290$ м.

Предположим, что площади (рис.13) S_0 (поверхности карьера), S_p (залежи при входе в нее бортов карьера) и S_k (дна карьера на конечной глубине) являются площадями кругов с радиусами R , r , r_k соответственно. При этом $r = M/2$ (M – горизонтальная мощность, диаметр залежи), $r_k = d/2$ (d – минимальный размер – диаметр конечного дна карьера). Принятые положения существенно облегчают аналитическое формулирование влияния капитального вскрытия и его учет при установлении границ карьера.

В общем случае столбообразные тела полезного ископаемого в плане могут иметь площади, отличные от круга, и, как следствие, идентичную форму карьера по поверхности. Однако они могут быть приведены к площади круга, для чего периметр площади приравнивается длине окружности, и равенство решается относительно радиуса, который используется для принятия решения по определению конечных контуров карьера.

Определим объемные и относительные показатели при последовательном моделировании границ округлых карьеров. Карьер в этом случае аппроксимируется через перевернутый усеченный конус с площадью верхнего основания (площадь карьера по поверхности)

$$S_0 = \pi R^2, \quad (22)$$

нижнего основания (площадь залежи при вхождении в нее бортов)

$$S_p = \pi r^2 \quad (23)$$

и высотой (глубина карьера от поверхности до S_p) H_0 .

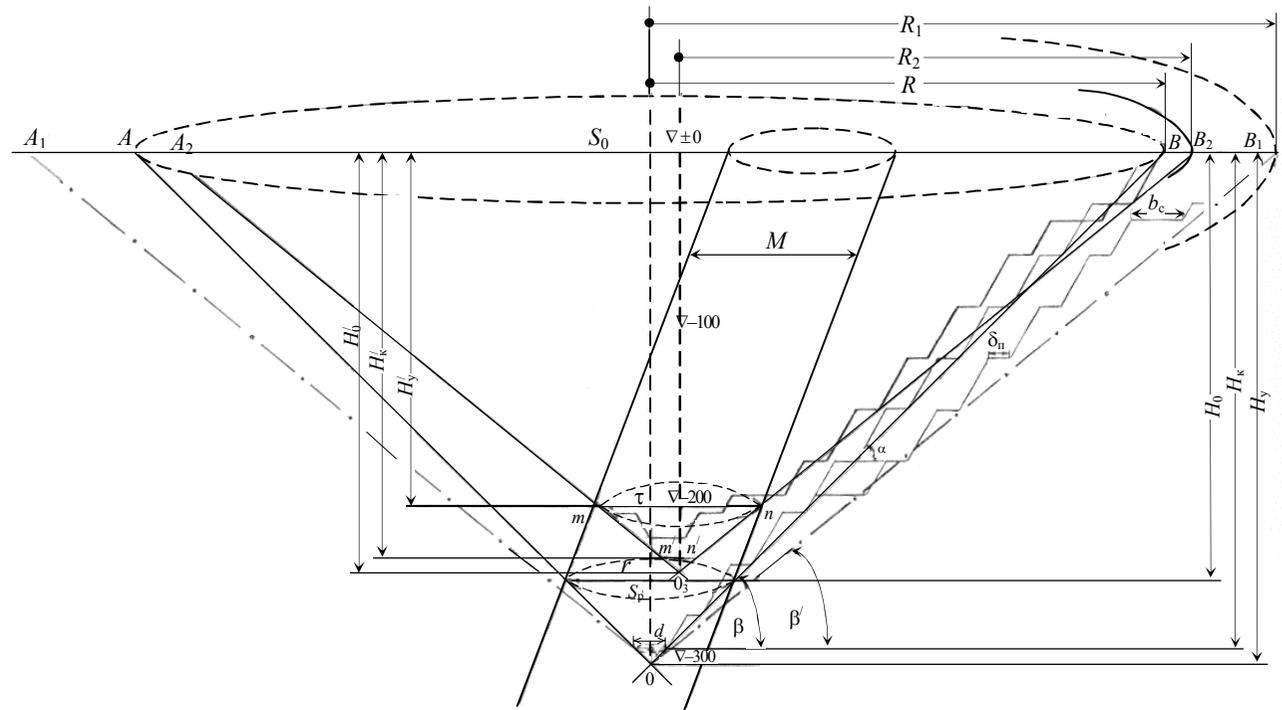


Рис. 13. Определение границ карьеров на месторождениях округлой формы

Объем усеченного конуса (по образующим – расчетным линейным бортам) – объем горной массы в карьере с глубиной H_0 :

$$Q = \frac{\pi H_0}{3} (R^2 + r^2 + Rr). \quad (24)$$

Запасы полезного ископаемого

$$P = \pi r^2 H_0. \quad (25)$$

Выражая r через мощность залежи M , получим

$$Q = \frac{\pi H_0 (4R^2 + M^2 + 2RM)}{12} \quad (26)$$

и

$$P = \frac{\pi M^2 H_0}{4}. \quad (27)$$

Объемы горной массы в карьере с конечной глубиной H_k и гладкими бортами составят

$$Q = \frac{\pi H_k (4R^2 + d^2 + 2Rd)}{12}. \quad (28)$$

Запасы полезного ископаемого определяются зависимостью

$$P = \frac{\pi (6M^2 H_0 \operatorname{ctg} \beta + M^3 - d^3)}{24 \operatorname{ctg} \beta}. \quad (29)$$

Объемы вмещающих пород из выражений (26) и (27):

$$V = Q - P = \frac{\pi [2H_k \operatorname{ctg} \beta (4R^2 + d^2 + 2Rd)]}{24 \operatorname{ctg} \beta} - \frac{\pi (6M^2 H_0 \operatorname{ctg} \beta + M^3 - d^3)}{24 \operatorname{ctg} \beta}. \quad (30)$$

При построении поуступных бортов и дна карьера на конечной глубине H_k из контура карьера исключаются некоторые объемы

вскрышных пород $\Delta V''$ и полезного ископаемого $\Delta P''$, которые представляются формулами

$$\Delta V'' = \frac{\pi h H_0 (\operatorname{ctg} \beta - \operatorname{ctg} \alpha) (2R + M)}{4}; \quad (31)$$

$$\Delta P'' = \frac{\pi h (M^2 - d^2) (\operatorname{ctg} \beta - \operatorname{ctg} \alpha)}{8 \operatorname{ctg} \beta}. \quad (32)$$

Подставляя в аналитические выражения исходные данные и расчетные значения параметров элементов, использованные для построения карьера, на рис.13 получаем изменение абсолютных и относительных карьерных показателей при формировании границ карьера. Результаты расчетов приведены в табл.5.

Первая и вторая строки табл.5 свидетельствуют о построении карьера с поуступными бортами, конечной глубиной H_k и показателями, отвечающими экономической целесообразности отработки месторождения, отражаемой значением граничного коэффициента вскрыши, использованного при оконтуривании.

Капитальное вскрытие карьера выполнено системой комбинированных съездов по всему периметру борта карьера с двумя съездами по каждому диаметральному разрезу (на рис.13 оформлена только правая часть). Построенное таким образом капитальное вскрытие выложило конечный борт до угла откоса β' , значение которого установлено по зависимости (9)

$$\begin{aligned} \beta' &= \operatorname{arctg} \frac{H_k}{qb_c + \sum_{i=1}^n \delta_{\Pi i} + \sum_{i=1}^n h_i \operatorname{ctg} \alpha} = \\ &= \operatorname{arctg} \frac{290}{2 \cdot 30 + \sum_{i=1}^{10} \cdot 13 + \sum_{i=1}^{10} \cdot 30 \operatorname{ctg} 60^\circ} = 39^\circ 40', \end{aligned}$$

где q – число съездов на разрезе борта; b_c – ширина съездов, м.

**Изменение карьерных показателей при моделировании бортов и конечных границ
для залежей округлой формы**

№ п/п	Факторы, формирующие борта и границы	Показатели							
		$n_k, \text{м}^3/\text{м}^3$	$n_{\text{ср}}, \text{м}^3/\text{м}^3$	$P, \text{тыс.м}^3$	$V, \text{тыс.м}^3$	$Q, \text{тыс.м}^3$	$H_0, \text{м}$	$H_y, \text{м}$	$H_k, \text{м}$
1	Определение глубины H_0 по принципу $n_r \geq n_k = \frac{S_0}{S_p} - 1$ и глубины H_y	35	13,33	1962	26167	28219	250	300	–
2	Моделирование поуступных бортов и дна карьера на конечной глубине H_k	35	11,95	2044	24425	26469	–	–	290
3	Построение плана карьера на конец отработки со схемой капитального вскрытия	52	19,2	2044	39260	41304	–	–	290
4	Корректирование глубины карьера H_0 до значения H'_0 и H_y до значения H'_y после построения капитального вскрытия и уге-рей в связи с этим границ экономической целесообразности	35	13,33	1609	21457	23066	205	245,8	–
5	Построение поуступных бортов карьера и дна карьера на конечной глубине H_k	35	11,96	1668	19950	20862	–	–	237
6	Построение плана карьера на конец отработки со схемой капитального вскрытия и глубиной H'_k	35	12,98	1716	21240	22956	–	–	237

Определение абсолютных и относительных показателей в карьере со схемой вскрытия осуществлялось по зависимостям (26) и (27), трансформированным применительно к новым условиям.

Для определения объемов горной массы Q использовалась зависимость (26), в которой радиус R заменен на R_1 , являющийся новым радиусом площади карьера на поверхности по причине выполаживания угла откоса конечного борта до значения β' ,

$$R_1 = H_k \operatorname{ctg} \beta' + r_k = H_k \operatorname{ctg} \beta' + \frac{d}{2}. \quad (33)$$

В результате объем принял значение

$$Q = \frac{\pi H_k (4H_k \operatorname{ctg} \beta' + 3d)^2}{48}. \quad (34)$$

При построении схемы вскрытия запасы полезного ископаемого P в контурах карьера не претерпели изменений и могут быть определены по зависимости (27).

Объемы вмещающих пород V устанавливаются как разность объемов Q и P .

Результаты расчетов приведены в третьей строке табл.5. Объемы вскрыши и средний коэффициент вскрыши возросли на 60,7 % при неизменных запасах полезного ископаемого. Контурный коэффициент превзошел граничный на 48,6 %. Столь же велика и потеря экономической целесообразности отработки рассматриваемого месторождения. Восстановление экономической целесообразности карьера при построенной схеме вскрытия и новом угле откоса конечного борта β' возможно только за счет уменьшения значения его конечной глубины H_k .

Исходя из метода оконтуривания округлых тел, задача должна решаться прежде всего для глубины карьера H_0 .

Обратимся к рис.13, откуда можно записать:

$$H_0 = (R - r) \operatorname{tg} \beta. \quad (35)$$

Приведа площадь карьера по поверхности и залежи на глубине H_0 к круглой форме, выражение (19), как говорилось ранее, можно представить в виде:

$$n_k = \frac{R^2}{r^2} - 1,$$

откуда

$$R = r\sqrt{n_k + 1} \quad (36)$$

или

$$R = \frac{M}{2}\sqrt{n_k + 1}. \quad (37)$$

Подставим формулу (35) в выражение (33) и получим окончательное выражение:

$$H_0 = \frac{M \operatorname{tg} \beta [(\sqrt{n_k + 1}) - 1]}{2}. \quad (38)$$

Выражение (36) является основой корректирования глубины карьера при изменении угла откоса конечного борта β . При этом мощность залежи M и положенный в основу оконтуривания граничный коэффициент вскрыши n_r , приравниваемый n_k , остаются неизменными. Поэтому границы, установленные по зависимости (36), всегда отвечают экономической целесообразности, заложенной в граничном коэффициенте вскрыши n_r .

Для принятия решений по корректированию глубины H_0 построим график $H_0 = f(\beta)$. С этой целью определим по зависимости (36) значения глубины карьера H_0 для диапазона нормативных значений угла β от 25° до 55° через 1° . Результаты расчетов приведены на рис.14.

С новым углом откоса конечного борта $\beta' = 39^\circ 40'$, образованным построением капитального вскрытия, входим в график $H_0 = f(\beta)$ на рис.14, получаем новое значение $H_0' = 205$ м. В соответствии с откорректированной глубиной строим поэтапно новые

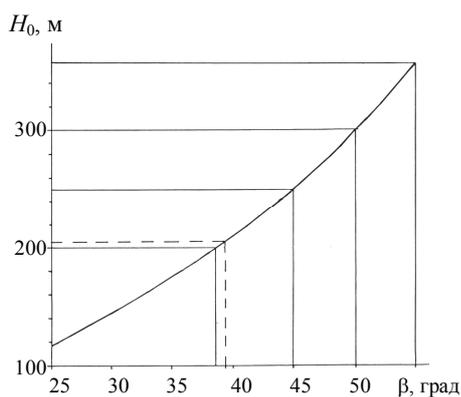


Рис.14. Зависимость глубины карьера H_0 от угла откоса конечного борта β

конечные контуры карьера и сопоставляем абсолютные и относительные показатели в них с таковыми в базовом карьере (строки 1, 2, 3 табл.5).

На рис.13 отмечаем точки m и n входа конечных бортов в залежь в соответствии с новым значением $H'_0 = 205$ м. Строятся новые линейные гладкие (плоские) борта под новым углом $\beta' = 39^\circ 40'$, до схождения в залежи в точке O_3 на глубине 248,5 м до поверхности. Но-

вый радиус площади карьера по поверхности может быть установлен, исходя из новой глубины карьера H'_0 :

$$R_2 = H'_0 \operatorname{ctg} \beta' + r$$

или

$$R_2 = H'_0 \operatorname{ctg} \beta' + \frac{M}{2}.$$

Соответствующие карьерные показатели приведены в строке 4 табл.5. Сопоставление их с базовыми показателями (строка 1) свидетельствует о том, что на этом этапе построения границ предложенные рекомендации являются корректными и надежными.

Строим минимальное дно диаметром $d = 20$ м, отметка которого $\nabla H'_k = -237$ м. Оформляем поуступные борта, определяем показатели Q , P , V , n_{cp} и n_k (строка 5 табл.5) и сопоставляем их с базовыми (строка 2 табл.5). При изменившихся на 22-27 % значениях Q , P и V относительные показатели сохранили свои значения на уровне экономической целесообразности границ, что и требовалось обеспечить аппаратом корректирования глубины карьера.

Построение карьера с откорректированной глубиной на конец отработки со схемой вскрытия следует осуществлять по методике для вытянутых залежей. Борты базового карьера аналогичной стадии $B_1 f$ на рис.13 перемещаются параллельно самим себе до касания нижней бровки верхнего уступа линейного борта $B_2 mn'$ нового карьера.

В результате получен карьер с контурами в разрезе $A_2 m'n' B_2$. Правый борт разреза оформлен поуступно со схемой вскрытия, т.е. так, как должен быть оформлен любой участок карьера по периметру. Левый борт для упрощения рисунка представлен линейно $A_2 m'$. Следует отметить, что минимально необходимое дно карьера $m''n''$ в связи с конфигурацией конечного борта возможно построить только на $\nabla H'_k = -225$ м, т.е. выше на 12 м, которые послойно с верхней погрузкой могут быть отработаны при завершении горных работ. Форма борта базового карьера и расположение на нем съездов могут также незначительно (в пределах одного уступа) увеличить конечную глубину. В обоих крайних случаях расчеты объемных и относительных показателей для объективной оценки должны выполняться для глубины, определяемой расчетными линейными бортами, т.е. на рис.13 для глубины H'_k на отметке -237 м. Сопоставление расчетных показателей (строка 6 табл.5) с базовыми (строка 1 табл.5) свидетельствует о хорошей сходимости результатов (расхождение значений среднего коэффициента на 2,7 % можно объяснить неточностью построений и расчетов).

Таким образом, рекомендации по обеспечению экономической целесообразности контуров карьеров на месторождениях округлой формы при построении капитального вскрытия являются надежными и приемлемыми в проектной практике в соответствующих горно-геологических условиях.

1.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ КАРЬЕРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДРУГИХ ПРИНЦИПОВ ОКОНТУРИВАНИЯ

1.4.1. Общие положения

Принцип оконтуривания месторождений на поперечных профилях $n_r \geq n_0 + n$ (где n_0 – первоначальный; n – наибольший усредненный эксплуатационный коэффициент вскрыши), предложенный А.И.Арсентьевым, по сравнению с другими принципами носит более общий характер. В определенных горно-геологических условиях принципы $n_r \geq n_k$, $n_r \geq n_t$, $n_r \geq n_{cp}$ и др. являются его частными случаями. В связи с этим можно считать, что в случае положительных результатов реализации разработанных рекомендаций по установлению конечных границ карьеров при использовании принципа $n_r \geq n_0 + n$ они могут быть приемлемыми для всех других принципов оконтуривания.

1.4.2. Влияние и учет капитального вскрытия при оконтуривании по принципу $n_r \geq n_0 + n$

На рис.15 представлен поперечный разрез месторождения в масштабе 1:2000, на котором ориентировочно оконтурен карьер с углами откосов конечных бортов $\beta = 45^\circ$ и границами по поверхности I-I. Этот разрез принят за характерный (или за построенный средневзвешенный) по месторождению и послужил основой для получения данных, входящих в зависимость (11) – n_0, λ, μ . С этой целью по принятому направлению углубки (1, 2, 3...13 – центры дна подготовительных выработок на соответствующих горизонтах) были построены положения горных работ на момент окончания подготовки каждого горизонта при высоте уступа $h = 20$ м и угле откоса рабочего борта $\varphi = 15^\circ$.

Извлекаемые объемы полезного ископаемого P и вскрышных пород V были положены в основу построения графика нарастающих объемов вскрышных пород в зависимости от нарастания объе-

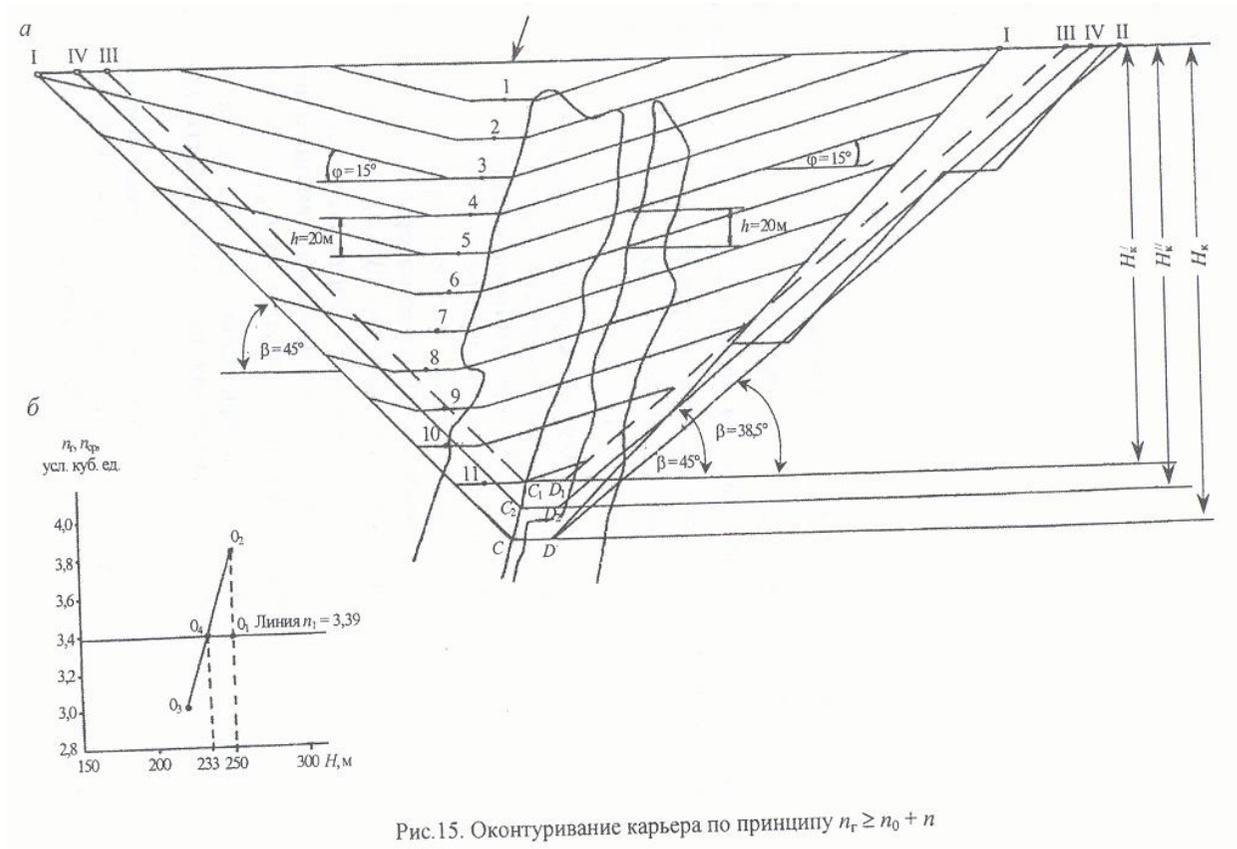


Рис.15. Оконтуривание карьера по принципу $n_r \geq n_0 + n$

мов полезного ископаемого $V = f(P)$. С помощью графика были получены значения первоначального коэффициента $n_0 = 0,26 \text{ м}^3/\text{м}^3$, коэффициента неравномерности $\lambda = 1,66$, отношение первоначального коэффициента n_0 к среднему коэффициенту $n_{\text{ср}}$, т.е.

$\mu = \frac{n_0}{n_{\text{ср}}} = 0,08$. При расчетном граничном коэффициенте $n_r = 5,45 \text{ м}^3/\text{м}^3$

среднедопустимый коэффициент составляет

$$n_{\text{ср.д}} = \frac{n_r}{\lambda - \mu(\lambda - 1)} = \frac{5,45}{1,66 - 0,08(1,66 - 1)} = 3,39 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

При предположении, что средний коэффициент вскрыши $n_{\text{ср}}$ принял значение среднедопустимого $n_{\text{ср.д}}$ ($n_{\text{ср}} = n_{\text{ср.д}} = 3,39 \text{ м}^3/\text{м}^3$) на отметке $\nabla 250$ м, конечная глубина карьера составила $H_{\text{к}} = 250$ м (дно CD на рис.15). На всех остальных разрезах месторождения конечная глубина $H_{\text{к}}$ также обеспечивается равенством $n_{\text{ср}} = n_{\text{ср.д}} = 3,39 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Поскольку конечная глубина карьера установлена, приступают к построению капитального вскрытия. Предположим, что вскрытие осуществляется комбинированными съездами по правому борту карьера. В рассматриваемом разрезе два съезда, обеспечивающих грузотранспортную связь третьего горизонта с четвертым и седьмого с восьмым, построение которых выположило угол откоса конечного борта со значения $\beta = 45^\circ$ до значения $\beta' = 38,5^\circ$. В результате выполаживания борта (границы по поверхности стали I-II) в карьере возросли объемы вмещающих пород на 14,6 %. Средний коэффициент возрос до $n_{\text{ср}} = 3,84 \text{ м}^3/\text{м}^3$ и превзошел среднедопустимый коэффициент на 13,3 %, на такую же величину утрачена экономическая целесообразность границ открытых работ.

При сформировавшихся углах откосов конечных бортов левого β и правого β' восстановить экономическую целесообразность границ можно, только уменьшив глубину карьера. Критерием эко-

номичности при этом остается равенство среднего коэффициента среднедопустимому, т.е. $n_{\text{ср}} = n_{\text{ср.д}}$.

Порядок работ по корректированию глубины карьера следующий: строится карьер первого приближения с углами откосов бортов, учитывающих схему вскрытия, границами по поверхности III-III и по дну C_1D_1 на отметке $\nabla 220$ м (рис.15, а). Соотношение объемов вскрышных пород и полезного ископаемого – средний коэффициент вскрыши $n_{\text{ср}} = 3,01 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Следовательно, новая глубина карьера занижена, и дно нужно опустить.

В дальнейшем для сокращения времени поиска необходимой глубины, отвечающей принципу $n_{\text{т}} \geq n_0 + n$, целесообразно применять графическую интерполяцию. Для этого строится график, на котором по оси абсцисс откладывается глубина карьера H , а по оси ординат значения коэффициентов вскрыши n . На график $n = f(H)$ наносятся точки O_2 и O_3 (рис.15, б). Точка O_2 отвечает глубине карьера $H_{\text{к}} = 250$ м, границам по поверхности I-II с построенной схемой вскрытия и средним коэффициентом вскрыши $n_{\text{ср}} = 3,84 \text{ м}^3/\text{м}^3$, большим среднедопустимого. Точка O_3 соответствует глубине карьера $H_{\text{к}}' = 220$ м, границам по поверхности III-III с построенной схемой вскрытия и средним коэффициентом вскрыши $n_{\text{ср}} = 3,01 \text{ м}^3/\text{м}^3$, меньшим среднедопустимого.

Соединяются прямой точки O_2 и O_3 . Из точки на оси ординат, соответствующей значению среднедопустимого коэффициента вскрыши, проводится горизонтальная линия до пересечения с линией O_2O_3 в точке O_4 . Абсцисса точки O_4 соответствует глубине карьера $H_{\text{к}}' = 233$ м, отвечающей критерию $n_{\text{т}} \geq n_0 + n$.

На поперечном разрезе (рис.15, а) строится карьер глубиной $H_{\text{к}}' = 233$ м, с границами по поверхности IV-IV, вписанным капитальным вскрытием, отвечающий экономической целесообразности, заложенной в граничном коэффициенте вскрыши.

Таким образом, учет влияния капитального вскрытия при определении границ по универсальному принципу $n_r \geq n_0 + n$ заключается в обеспечении равенства $n_{ср} = n_{ср.д}$ при новых углах откосов конечных бортов (выполненных вскрытием) и новой (меньшей) глубине карьера.

Учитывая обобщающий характер принципа $n_r \geq n_0 + n$, можно считать, что рекомендации по учету влияния капитального вскрытия приемлемы в условиях применения любых принципов оконтуривания.

1.5. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ КАРЬЕРОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НАКЛОННОГО И КРУТОГО ПАДЕНИЯ

Исследования методом горно-геометрического моделирования по выявлению уровня влияния и способу учета капитального вскрытия системами различных горных выработок на карьерах в горно-геологических условиях месторождений крутопадающих вытянутых и округлой формы, оконтуренных по различным принципам, используемым в проектной и научной практике, позволили сформулировать методические рекомендации по корректированию существующих методов определения границ карьеров, позволяющие гарантировать экономическую целесообразность искомым конечным контуров карьеров со встроенным в них капитальным вскрытием. В связи с этим ниже предлагается методика определения конечных границ карьеров с учетом предложенных рекомендаций по обеспечению их экономической целесообразности:

1. На основе принятых решений по граничному коэффициенту вскрыши, углам откосов бортов в конечном положении и принятому принципу оконтуривания устанавливаются расчетные (линейные, гладкие) контуры карьера на поперечных геологических профилях месторождения (фактор I, табл.3). На месторождениях округлой формы определяется глубина H_0 входа конечных бортов в залежь по зависимости (19).

2. На оконтуренных поперечных профилях строится дно карьера минимальной нормативной ширины.

3. Осуществляется нивелирование дна карьера – построение единого выровненного дна карьера (при незначительном различии значений донных отметок на поперечных профилях) или нескольких участков дна с различными отметками (при значительном различии донных отметок на поперечных профилях). С этой целью строится продольный профиль месторождения, на него наносятся линии поперечных разрезов с донными отметками и осуществляется нивелирование дна с соблюдением следующих условий:

- протяженность отдельных участков дна должна отвечать транспортным условиям (≥ 200 м);

- запасы полезного ископаемого, теряемые при подъеме дна на поперечных профилях, должны примерно восполняться на разрезах, где дно понижается.

В соответствии с принятыми отметками дна корректируются контуры на поперечных профилях.

Отстраиваются торцевые борта карьера на основе отметок дна на торцевых разрезах и расчетных углов откосов конечных бортов.

4. На основе результатов нивелирования дна карьера на продольном и поперечных профилях, принятых решений по высоте уступов, отметок горизонтов и ширине берм безопасности, их разделяющих, строится план карьера на конец отработки с поуступным оформлением бортов без схемы вскрытия.

5. С учетом факторов, определяющих местоположение, форму и параметры капитального вскрытия (положение пунктов приема полезного ископаемого и вскрышных пород, рельеф поверхности, вид технологического транспорта, систему разработки, направление развития горных работ и т.д.) намечают (сверху вниз) трассу вскрытия на плане карьера на конец отработки.

6. Выбирается разрез или разрезы по карьере с поуступными бортами, с нивелированным дном и трассой капитального вскрытия (для карьеров округлой формы – диаметральный разрез), характерные по числу съездов, отметкам дна и зонам влияния. В число рассматриваемых могут включаться разрезы, формирующие (исходя из мощности залежи) промежуточные по высоте борта площадки карьера.

7. На выбранных характерных разрезах с поуступными бортами определяются объемные Q, P, V и относительные n_{cp}, n_k показатели (планиметрированием или аналитически) и заносятся в таблицу, аналогичную табл.3.

8. В бортах карьера на выбранных разрезах отстраивается капитальное вскрытие в соответствии с проложенной трассой и принятыми параметрами вскрывающих выработок. Определяются новые значения выположенных вскрытием углов откосов конечных бортов (по зависимости (9) или непосредственными замерами), объемы Q, P, V , значения n_{cp}, n_k и заносятся в таблицу (см. п.7). Анализируется изменение показателей под влиянием капитального вскрытия.

9. Для каждого разреза определяется экономически целесообразная глубина карьера, учитывающая вовлечение капитальным вскрытием дополнительных объемов вмещающих вскрышных пород:

- для вытянутых месторождений используются зависимости (17), (18) или строятся графики $H_y = f(\beta)$ (правые верхние части номограмм для различных вариантов вскрытия, см. рис.12);

- для месторождений округлой формы следует применять зависимость (36);

- для месторождений, которые оконтуривались по принципу $n_r \geq n_0 + n$ методом использования допустимого среднего коэффициента вскрыши, новая глубина карьера отыскивается нахождением равенства среднего коэффициента среднедопустимому с использованием метода графической интерполяции (см. рис.15, б).

10. Все поперечные разрезы корректируются по новой глубине, на них отстраивается минимальное дно карьера и борта с капитальным вскрытием и соответствующими ему углами откосов. При изменившихся объемных показателях Q, P, V значения относительных n_{cp}, n_k показателей должны быть равны полученным в п.7.

11. На основе откорректированных разрезов строится план карьера на конец отработки со схемой вскрытия, экономическая целесообразность конечных контуров которого и эффективность веде-

ния в них горных работ отвечают граничному коэффициенту вскрыши.

Таким образом, рассмотренные рекомендации для крутопадающих и наклонных месторождений всех форм залежей и для всех методов определения конечных границ карьеров позволяют надежно устранять отрицательные влияния капитального вскрытия и тем самым обеспечивать в запроектированных контурах экономическую целесообразность отработки карьера на уровне принятого для оконтуривания граничного коэффициента вскрыши.

1.6. КОРРЕКТИРОВАНИЕ ГРАНИЦ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КАРЬЕРА им. XV-ЛЕТИЯ ОКТЯБРЯ

Реализация рекомендаций по учету отрицательного влияния капитального вскрытия демонстрируется в условиях железорудного карьера им. XV-летия Октября АО «Олкон», для которого были определены конечные контуры традиционными методами ($n_r \geq n_k$).

План карьера на конец отработки (рис.16) и его продольный профиль (рис.17) демонстрируют, что дно карьера в соответствии с горно-геологическими условиями и его нивелированием сформировалось в трех уровнях $\nabla 80$ м (западное крыло), $\nabla 180$ м (центральное) и $\nabla 55$ м (восточное). Кроме того, контурообразующим оказался разрез 2а (западный торец) с мощностью залежи $M = 35$ м, образовавший полку с отметкой $\nabla 115$ м (рис.17).

Следуя проектным результатам по определению конечных границ карьера и разработанным методическим указаниям, анализируем и выбираем для каждого участка дна характерный (с усредненной мощностью залежи) разрез. Результаты анализа и отбора приведены в табл.6.

Как видно из табл.6, в соответствии с принятыми решениями в карьере выделены четыре зоны корректирования границ карьера (графа 1), в которых характерными приняты: зона I – продольный торцевой разрез; зона II – разрез 5в (рис.18); зона III – разрез 3, зона IV – разрез 2а. Средние мощности залежи по разрезам, принятые для расчетов, приведены в графе 5. Углы откосов бортов, принятые для оконтуривания карьера, приводятся в графах 6, 8, а выполо-

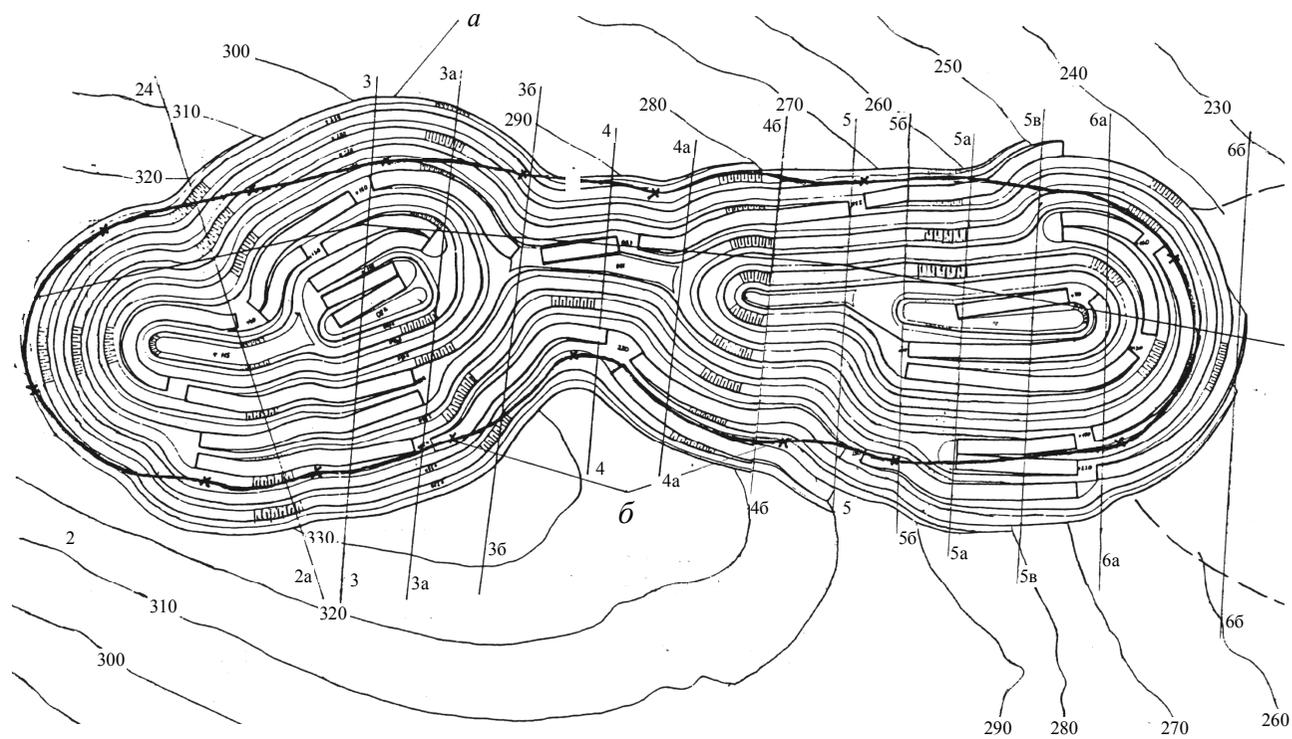


Рис. 16. План карьера им. XV-летия Октября на конец отработки со схемой (а) и без схемы (б) вскрытия

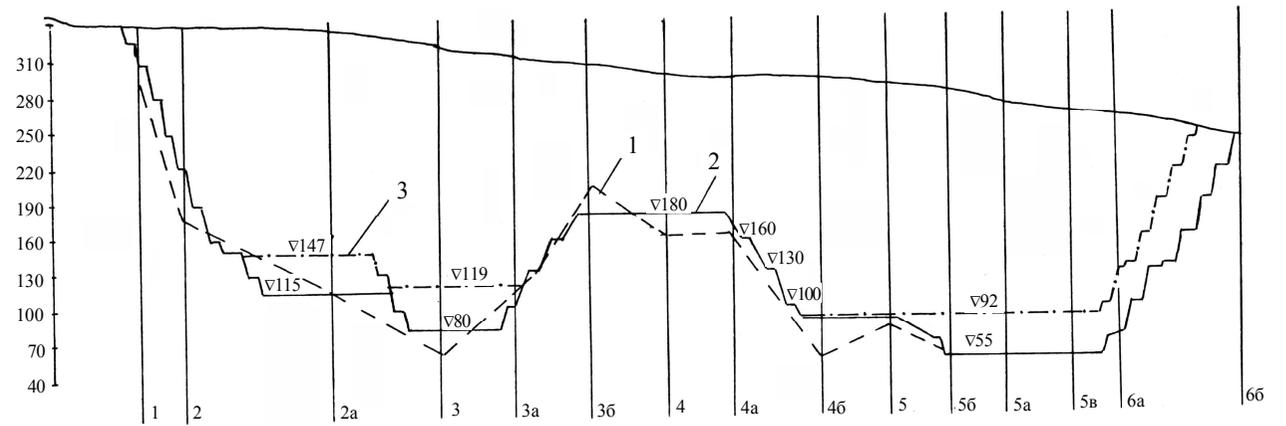


Рис.17. Продольный профиль карьера им. XV-летия Октября

1 – контур карьера после оконтуривания на поперечных разрезах; 2 – контур карьера со схемой вскрытия; 3 – откорректированный контур карьера

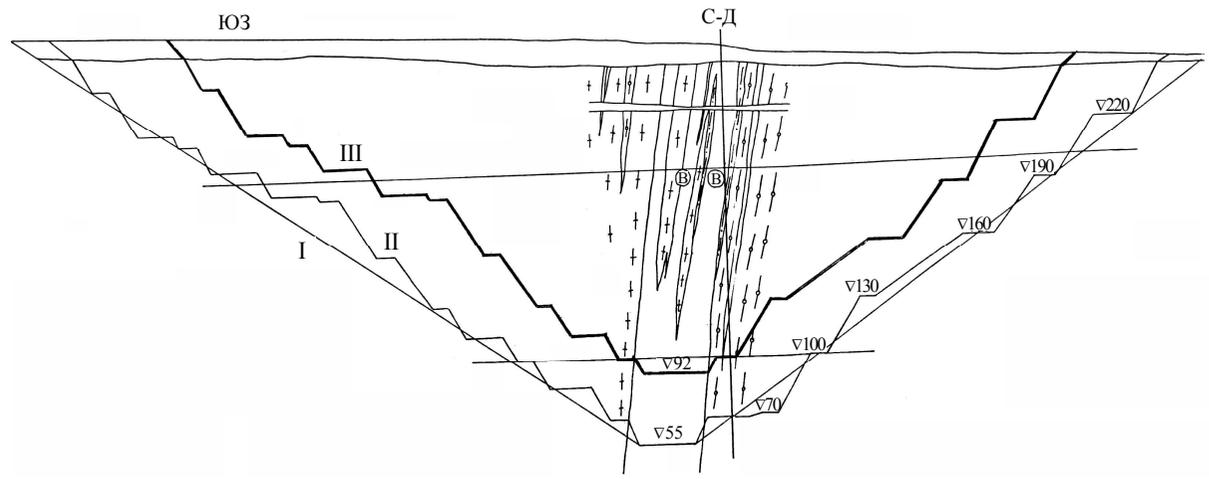


Рис.18. Разрез по профилю 5в

I – проектный линейный контур; II – поуступный контур; III – откорректированный контур

Результаты корректирования границ карьера им. XV-летия Октября

Зоны расчетов									Отметка дна карьера, м	Исключаемые при коррек- тировании границ объемы, тыс.м ³			Коэффициен- ты, м ³ /м ³		
Номер зоны	Харак- терный разрез	Разрезы зоны	Протяженность зоны, м	Средняя мощность, м	Углы откосов бортов, град					По проекту	Откорректированная	горной массы ΔQ	руды ΔP	вскрыши ΔV	вскрыши n _{ср}
					Северный борт		Южный борт								
					При оконтурива- нии	После корректиро- вания	При оконтурива- нии	После корректиро- вания							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I	Про- доль- ный	6а – вос- точный торец	560	41	45	35	45	35	55	92	6111	417	5964	13,66	0,07
II	5в	6а, 5в, 5а, 5б	340	41	45	34	45	35	55	92	7752	476	7276	15,28	0,06
III	3	3а, 3б, 3	230	42	45	34	45	39	80	119	5229	361	4868	13,47	0,07
IV	2а	3, 2а, 2	240	35	45	35	45	37	115	147	4155	305	3850	12,63	0,07
Итого:											23247	1559	21688	13,91	0,07

женные капитальным вскрытием в графах 7, 9. Проектные и откорректированные (экономически целесообразные) отметки дна карьера по расчетным зонам приведены в графах 10 и 11, принятые решения демонстрируются на рис.16 и 17.

Объемы полезного ископаемого ΔP , вскрыши ΔV , горной массы ΔQ , исключаемые из карьера при корректировании контуров, и соответствующие им относительные показатели $n_{\text{ср}}$ и $k_{\text{д}}$ по каждой расчетной зоне и по карьере в целом приведены в графах 12-16.

Объемы вмещающих пород, исключаемые из контуров карьера при корректировании границ ΔV , от общего объема пород в контуре карьера $V = 90,4$ млн м^3 (см. табл.6) составили

$$\frac{\Delta V}{V} \cdot 100 = \frac{21,6}{90,4} \cdot 100 = 23,9 \%$$

При этом теряется полезного ископаемого в процентах от запасов в проектном контуре $P = 13,8$ млн м^3 (см. табл.6):

$$\frac{\Delta P}{P} \cdot 100 = \frac{1,6}{13,8} \cdot 100 = 11,6 \%$$

В проектном контуре средний коэффициент вскрыши имел значение

$$n_{\text{ср}} = \frac{V}{P} = \frac{90,4}{13,8} = 6,55 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

В откорректированных границах средний коэффициент вскрыши составил

$$n'_{\text{ср}} = \frac{V - \Delta V}{P - \Delta P} = \frac{90,4 - 21,6}{13,8 - 1,6} = 5,64 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Учитывая тот фактор, что месторождение сравнительно выдержано по горно-геологическим показателям и дает возможность получения усредненных параметров залегания ($M = 43$, $\gamma = 70^\circ$), об-

ратимся к графику $n_k = f(n_{cp})$ на рис.19 для установления значений контурного коэффициента вскрыши. Как показали исследования, в условиях изменения глубины карьера H_y , мощности залежи M и угла откоса конечного борта взаимосвязь контурного и среднего коэффициентов вскрыши прямолинейна. В соответствии с графиком в проектном контуре $n_k = 13,6 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Отношение $(n_k/n_r) \cdot 100 = (13,6/12) \cdot 100 = 113,3 \%$ превосходит граничный коэффициент, что является следствием построения капитального вскрытия.

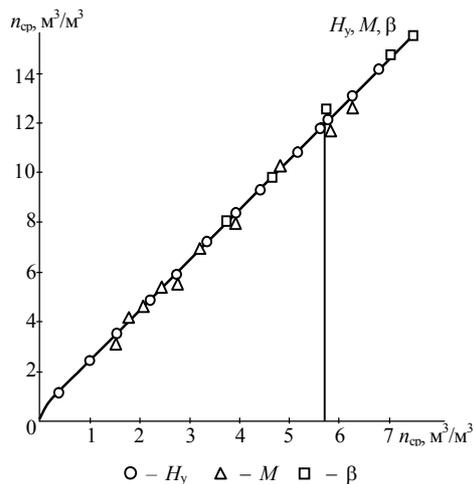


Рис.19. Взаимосвязь контурного n_k и среднего n_{cp} коэффициентов вскрыши при изменении глубины карьера H_y , мощности залежи M и углов откосов конечных бортов β

В новых контурах по графику на рис.18 $n'_k = 11,7 \text{ м}^3/\text{м}^3$, что чуть ниже расчетного $n_r = 12 \text{ м}^3/\text{м}^3$, по которому проектировался карьер.

Таким образом, учтено и устранено влияние капитального вскрытия, что позволило границам карьера им. XV-летия Октября обрести экономическую целесообразность и возможность эффективного ведения в них горных работ. Новые контуры карьера демонстрируются на рис.16, 17 и 18.

Эффект от реализации рекомендаций по учету капитального вскрытия при определении границ карьеров может определяться по нескольким направлениям:

Экологическое направление корректирования границ ведет к уменьшению размеров карьера по поверхности, а, значит, к сокращению горного отвода, т.е. площадей, подлежащих нарушению и отторжению из землепользования. Кроме того, сокращение объе-

мов извлекаемых вскрышных пород предопределяет высвобождение площадей из горного отвода, предусматриваемых под отвалообразование.

Выполненные расчеты по карьере им. XV-летия Октября показали сокращение площади карьера по поверхности на 14,3 га.

Объемы вскрышных пород в откорректированных контурах карьера сократились на 21,6 млн м³, которые должны были быть размещены во внешних отвалах. Согласно рекомендациям норм технологического проектирования для скальных пород высота отвалов может приниматься от 30 до 60 м. Примем среднюю высоту отвалов $H_0 = 45$ м и определим, какая площадь необходима для складирования $\Delta V = 21,6$ млн м³ пород:

$$\Delta S_0 = \frac{\Delta V}{H_0} = \frac{21,6 \cdot 10^6}{45} = 480000 \text{ м}^2 \text{ или } 48 \text{ га.}$$

Суммарное высвобождение площадей при корректировании границ карьера им. XV-летия Октября составило $14,3 + 48 = 62,3$ га.

Для предприятия в связи с сокращением арендуемых площадей уменьшается арендная плата за землю. В соответствии с законодательным актом «О плате за землю» в условиях Оленегорского ГОКа годовая арендная плата составляет 300 руб. за гектар (карьер, отвал и другие производственные площади). Материальная прибыль предприятия из-за сокращения производственных площадей составит

$$\mathcal{E}_n = 300 \cdot 62,3 = 18690 \text{ руб./год}$$

или за весь срок существования карьера $T = 19$ лет

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = \mathcal{E}_n T = 18690 \cdot 19 = 355110 \text{ руб.}$$

Сумма $\mathcal{E}_{\text{общ}}$ в материальном плане чисто символическая, несопоставимо больший эффект для всего общества – сохранность на установленном уровне (62,3 га сохраненных земель) экологической обстановки.

Производственное направление. Корректирование границ исключает из контуров карьера $\Delta V = 21,6$ млн м^3 вмещающих пород, что соответственно сокращает расходы предприятия на их разработку. При себестоимости извлечения 1 м^3 вскрыши по карьерам Оленегорского ГОКа за 1998 г. $b = 11,94$ руб./ м^3 экономия карьера им. XV-летия Октября за весь срок существования составит

$$\mathcal{E}_T = \Delta V b = 21,6 \cdot 10^6 \cdot 11,94 = 257904000 \text{ руб.}$$

или ежегодно, начиная с четвертого года разработки (год выхода на конечные борта),

$$\mathcal{E}_r = \frac{\mathcal{E}_T}{T-3} = \frac{257904000}{19-3} = 16,1 \text{ млн руб.}$$

При подъеме дна карьера теряется $1,6$ млн м^3 руды. Подсчет эффекта от корректирования границ карьера не учитывает ценность оставляемой в недрах руды, поскольку добыча ее не рентабельна.

Проектное направление. Высоквалифицированные проектировщики или заказчики при анализе конечных границ карьера обнаруживают повышение среднего, а значит, и контурного (сверх граничного) коэффициентов вскрыши. Корректирование границ, выполняемое опытным проектировщиком для восстановления их экономической целесообразности, осуществляется, как правило, методом последовательного приближения (за счет интуитивного изменения контуров), что является задачей весьма трудоемкой, длительной и без гарантии надежного корректного решения.

Разработанные методические дополнения ко всем существующим методам определения границ карьеров позволяют обеспечить учет влияния капитального вскрытия независимо от сложности объектов в кратчайшие сроки с гарантией экономической целесообразности границ на уровне граничного коэффициента вскрыши, что свидетельствует о возможности значительного повышения производительности труда при выполнении проектных работ.

1.7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГРАНИЦ КАРЬЕРОВ НА ПОЛОГИХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

1.7.1. Представительство пологих и горизонтальных месторождений

Месторождения горизонтального и пологого залегания составляют весьма представительную группу. Это прежде всего месторождения осадочного происхождения: угольные и сланцевые, никелевые, бокситовые, марганцевые, фосфоритовые, природной серы, асбестовые и др.

Большую группу горизонтальных месторождений представляют строительные горные породы и месторождения минерального сырья для производства строительных материалов: карбонатные породы – известняки, доломиты, мел, мергели, диатомиты, опоки и др.; песчано-гравийные и глинистые месторождения; до 40 % изверженных пород строительного назначения; метаморфические месторождения мраморов, сланцев и др.

1.7.2. Оконтуривание карьеров на пологих и горизонтальных месторождениях

При разработке горизонтальных и пологих месторождений границы открытых работ определяются на основе принципов, аналогичных изложенным для крутых и наклонных залежей.

В тех случаях, когда рельеф поверхности почти горизонтальный с незначительно изменяющимися высотными отметками, исходными материалами для проектирования контуров карьера служат планы изомощностей вскрышных пород и изолиний коэффициентов вскрыши. При этом необходимости в определении конечной глубины карьеров обычно не возникает, так как она соответствует отметке почвы пласта. Однако и в этом случае предварительно устанавливаются экономичность применения открытых работ (условие $n_{г} \geq n_{ср}$).

В первом приближении средний коэффициент

$$n_{ср} = H_{в} / m , \quad (39)$$

где H_v – средняя мощность вскрыши, м; m – средняя мощность залежи, м.

При небольших по площади, но глубоких горизонтальных месторождениях средний коэффициент вскрыши определяется соотношением действительных объемов вскрыши V и фактических запасов полезного ископаемого P в контуре карьера:

$$n_{cp} = V / P. \quad (40)$$

Размеры карьера в плане ограничиваются минимально допустимой мощностью залежи, непромышленным содержанием полезных компонентов, природными или искусственными преградами (реки, озера, населенные пункты, железные дороги, линии электропередачи и т.д.), препятствующими на данном месте развитию открытых горных работ. При проектировании разработки месторождений строительных горных пород любого происхождения и назначения границы карьеров часто определяются контурами подсчета запасов, допускаемых по категории разведанности к эксплуатации.

В контур карьера должны попасть все участки залежи, для которых полная величина затрат на добычу полезного ископаемого не будет превышать его допустимой себестоимости.

1.8. ПРОЕКТНЫЕ ДОКУМЕНТЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГРАНИЦ КАРЬЕРА

Основными проектными документами по определению границ карьера являются:

- записка по обоснованию граничного коэффициента вскрыши и устойчивых углов откосов бортов карьера в конечном положении;
- поперечные разрезы месторождения с границами карьера на конец отработки и контурами залежи;
- горизонтные планы с границами карьера на конец отработки и контурами залежей;
- план карьера на конец отработки со схемой вскрытия.

2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ВСКРЫТИЯ, СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ, НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ И СХЕМ КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ

2.1. ВСКРЫТИЕ КАРЬЕРНЫХ ПОЛЕЙ

Целью вскрытия месторождений является установление грузотранспортной связи рабочих горизонтов карьера с пунктами приема полезного ископаемого и вскрышных пород. Вскрытие заключается в проведении горных выработок, используемых для строительства в них транспортных коммуникаций.

Проектированию вскрытия карьерного поля предшествуют вопросы:

- построения конечного контура карьера;
- установления параметров элементов системы разработки;
- установления отметок рабочих горизонтов;
- выбора вида транспорта горной массы;
- выбора места расположения обогатительной фабрики,
- дробильно-сортировочного завода (склада) и отвалов.

При наличии необходимых исходных данных выявляются и намечаются возможные варианты вскрытия, производится их технико-экономическое сравнение и выбирается наиболее экономичный вариант.

Схема расположения вскрывающих выработок формируется с учетом принятого направления развития горных работ, рельефа поверхности и соблюдения следующих условий:

- минимальные объемы горно-капитальных работ;
- минимальные сроки строительства карьера;
- наименьшие расстояния и благоприятные условия транспортирования горной массы до фабрики и отвалов.

Различают разработку месторождений (или их частей), лежащих выше и ниже господствующей поверхности. Вскрытие на горной части карьера осуществляется непосредственными заездами на рабочие горизонты по соответствующим отметкам поверхности. В особо сложных и трудных топографических условиях вскрытие

нагорных месторождений осуществляется с помощью штолен, рудоспусков (породоспусков) и рудоскатов (породоскатов). Местоположение этих выработок выбирается по возможности в центре тяжести запасов полезного ископаемого.

Вскрытие глубинной части месторождения осуществляется системами съездов, располагаемыми по бортам вытянутых или по периметру округлых карьеров. При округлой форме карьера его глубинная часть вскрывается системой поступательных (спиральных) съездов. При вытянутой форме карьера вскрытие глубинной части осуществляется системами поступательных, тупиковых или комбинированных (чаще всего) съездов. Начало системы съездов в глубинную часть карьера приурочивается к наиболее низкой отметке поверхности замкнутого контура.

Проект вскрытия карьера должен предусматривать с глубиной разработки перспективу возможного перехода на другие виды транспорта или на комбинированной транспорт.

При большой мощности покрывающих пород или при незначительных размерах карьера в плане часто горизонты покрывной толщи вскрываются внешними траншеями, поскольку применение внутренних вскрывающих выработок в этом случае ведет к резкому сокращению рабочего фронта.

Решение вопросов вскрытия целесообразно и более эффективно осуществлять совместно проектировщикам-горнякам и транспортникам.

2.2. СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ КАРЬЕРНЫХ ПОЛЕЙ

Исходными данными для выбора и расчета системы разработки служат:

- длина карьерного поля и его ширина по поверхности;
- вертикальная мощность залежи и вскрышных пород для горизонтальных и пологопадающих залежей или горизонтальная мощность и ее площадь на каждом горизонте для наклонных и крутопадающих залежей;
- намечаемая структура комплексной механизации.

Выбор системы разработки осуществляется в соответствии с двумя первыми группами исходных данных.

Расчет системы разработки производится с учетом всех исходных данных и заключается в подборе и проверке соответствия высоты уступов и рабочих параметров горного оборудования, определении минимальной и необходимой (с учетом нормативного резерва готовых к выемке запасов полезного ископаемого) ширины рабочих площадок, ширины заходов, установлении количества и длины блоков на рабочих уступах, количества рабочих уступов, определении потерь и разубоживания и т.п.

Сравнение конкурирующих систем разработок осуществляется по основным показателям – скорости понижения добычных работ, производительности единицы рудного, породного и общих фронтов работ, потерям и разубоживанию и, в конечном итоге, по производительности по полезному ископаемому, которой может достичь карьер при каждой из рассматриваемых систем разработки и распределению при этом во времени извлекаемых пустых пород.

Высота уступа определяется с учетом влияния следующих факторов:

- физико-механических свойств и условий залегания пород;
- рабочих параметров применяемого горного оборудования;
- условий безопасного ведения горных работ;
- оптимального объема горных работ для отдельных периодов разработки (от высоты уступа зависит угол откоса рабочего борта, а значит и текущий коэффициент вскрыши).

Высота уступа в рыхлых породах при применении механических лопат не должна превышать высоты черпания экскаватора. При применении драглайнов или многоковшовых экскаваторов высота уступа в рыхлых породах принимается в соответствии с глубиной (при нижнем черпании) или высотой (при верхнем черпании) черпания экскаваторов.

Высота уступа в скальных породах, разрабатываемых с применением буровзрывных работ и использованием для погрузки механических лопат, принимается, как правило, в пределах от 10 до 20 м. В зонах контактов вскрышных пород с залежью полезного ископаемого в необходимых случаях предусматривается разделение

уступа на два подступа с целью уменьшения потерь и разубоживания, а так же при селективной выемке полезного ископаемого.

При взрывании скальных пород на свободную поверхность высота уступа определяется, исходя из требования, чтобы высота навала взорванных пород не превышала максимальной высоты черпания принимаемой механической лопаты. В случаях высоких навалов необходимы мероприятия по обеспечению безопасной работы экскаваторов.

При взрывании пород в условиях зажатой среды (на необработанную взорванную породу), когда высота навала взорванной породы превышает высоту черпания принятой механической лопаты, предусматривается разделение высоты навала на подступы или уменьшение высоты уступа пород в массиве до безопасной величины.

В необходимых случаях рациональная высота уступов устанавливается с учетом влияния следующих дополнительных факторов:

- минимальные сроки строительства карьера;
- минимальные объемы горно-капитальных работ;
- быстрее освоение производственной мощности.

Высота уступов для отдельных периодов работы карьера может приниматься различной для обеспечения рациональных режимов горных работ (рациональное соотношение полезного ископаемого и вмещающих пород).

Ширина рабочей площадки определяется:

- шириной навала пород после взрыва;
- расстоянием между кромкой навала и верхней бровкой нижележащего уступа, обеспечивающим безопасную, производительную работу горного и транспортного оборудования, а также включающим готовые к выемке запасы.

Таким образом, ширина рабочей площадки находится в зависимости от технологии буровзрывных работ, технологической схемы разработки, системы энергоснабжения, связи, транспорта и ширины полосы готовых к выемке запасов.

При системе разработки поперечными заходками ширина рабочих площадок по простиранию рассчитывается, исходя из раз-

мещения взорванной породы, автомобильной дороги, горного оборудования и необходимого резерва готовых к выемке запасов. Ширина рабочей площадки вкрест простирания при этой системе рассчитывается из условий размещения взорванной горной массы и проезда автосамосвалов.

В тех случаях, когда условия разработки месторождения, намечаемого к эксплуатации, аналогичны условиям эксплуатируемых месторождений, размер *потерь и разубоживания* допустимо принимать по данным многолетней практики.

В случаях сложного строения залежи полезного ископаемого, наличия перемежаемости их сортов и разделения их прослоями вскрышных пород и необходимости отдельной выдачи нескольких сортов полезного ископаемого, размер потерь и разубоживания определяется графически по характерным или средневзвешенным геологическим разрезам, с учетом контактов, мощности пачек полезного ископаемого, угла падения залежи и других факторов.

2.3. НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ В КАРЬЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Направление развития горных работ определяет:

- производительность карьера по полезному ископаемому;
- соотношение извлекаемых объемов полезного ископаемого и пород, отражаемое эксплуатационным коэффициентом вскрыши, коэффициентом добычи и т.п.;
- качество добываемого полезного ископаемого;
- величина потерь полезного ископаемого и примешивания к нему вскрышных пород;
- экономическая эффективность разработки месторождения в целом.

Самым общим критерием определения развития горных работ является максимум приведенной прибыли.

В случаях решающего значения распределения вскрышных пород применяют критерий наименьшего среднего от начала разработки коэффициента вскрыши.

При разработке комплексных месторождений критерием является коэффициент добычи.

При разработке месторождений строительных горных пород в качестве критерия определения направления развития горных работ могут выступать химический состав (цементное сырье), физико-механические свойства (щебень).

Определение направления развития горных работ по принятому критерию наиболее целесообразно с применением экономико-математических методов и реализацией их на ЭВМ.

2.4. ВЫБОР ГОРНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СХЕМЫ МЕХАНИЗАЦИИ ГОРНЫХ РАБОТ

При проектировании разработки месторождений следует стремиться к комплексной механизации горных работ.

Цель комплексной механизации заключается в получении наилучших технико-экономических показателей разработки. Для этого необходимо, чтобы механизация была не только комплексной, но и комплектной. Под комплектностью механизации понимается соответствие оборудования в смежных технологических процессах рабочим параметрам, производительности и режиму работы.

По мере физического и морального износа отдельных машин и механизмов должно предусматриваться обновление их парка более эффективными современными машинами. Для мощных горно-добывающих предприятий неизбежны периодические реконструкции, при которых может полностью меняться схема комплексной механизации, а, значит, и комплект машин.

При проектировании следует учитывать, что механизация и организация работ на карьерах развивается на основе внедрения поточной и циклично-поточной технологии, при которых обеспечиваются наиболее высокие технико-экономические показатели разработки.

Конкурирующие структуры комплексной механизации сравниваются по стоимости и трудоемкости производства, удельным капитальным затратам, металлоемкости и энергоемкости.

Любая структура комплексной механизации должна полностью удовлетворять требованиям безопасности производства горных работ, полноты извлечения запасов полезного ископаемого из недр, обеспечения требуемого качества продукции и комплексного использования видов и сортов полезного ископаемого на карьере.

Подготовка горной массы к выемке

При разработке рыхлых пород следует рассматривать применение невзрывных способов подготовки: осушение, оттаивание, утепление, увлажнение, механические рыхления и управляемое обрушение горных пород.

При разработке скальных, полускальных и мерзлых горных пород требуется использование буровзрывных работ. При проектировании БВР последовательно решаются следующие вопросы:

- выбор вида бурения, диаметра скважин, типоразмера бурового станка, типа ВВ и СВ;
- расчет линии сопротивления по подошве (ЛСПП) и сетки скважин;
- определение параметров взрывной скважины, ее заряда;
- расчет параметров взрываемого блока;
- выбор схемы взрывания блока с учетом предполагаемого направления взрыва и обеспечение хорошего гранулометрического состава взорванной горной массы;
- расчет выхода горной массы с 1 м скважины, общего объема бурения и необходимого количества бурового оборудования;
- определение состава и показателей вспомогательных процессов при БВР.

Выемочно-погрузочные работы

Выемочно-погрузочное оборудование определяет структуру комплексной механизации и эффективность работы горнодобывающего предприятия в целом.

Проектирование выемочно-погрузочных работ предусматривает:

- выбор номенклатуры оборудования и конкретных моделей;
- расчет параметров забоев выемочно-погрузочных машин;

- определение производительности и необходимого количества погрузочного оборудования.

Транспортирование горной массы

Проектирование карьерного транспорта предусматривает решение следующих задач:

- выбор и обоснование вида транспорта и транспортных сосудов;
- выбор и обоснование схемы работы транспорта на рабочем горизонте (схемы маневрирования и подачи транспортных средств к погрузочному оборудованию);
- расчет производительности транспортной единицы (локомотивосостава, самосвала), конвейера и необходимого количества транспортных средств;
- определение ограничивающего перегона и проверка его возможностей обеспечения производительности карьера по полезному ископаемому и горной массе;
- учет требований техники безопасности.

Отвалообразование

При внешнем отвалообразовании в зависимости от принятых средств механизации (экскаваторные, бульдозерные и т.п.) проектирование сводится к решению следующих задач:

- определение вместимости и высоты отвалов (при ограниченной площади) или площади (при ограниченной по физико-механическим свойствам пород высоты);
- расчет параметров, приемной способности и количества отвальных тупиков при железнодорожном транспорте и экскаваторном отвалообразовании или отвальных участков при автомобильном транспорте и бульдозерном отвалообразовании;
- расчет объемов бульдозерных работ и бульдозерного оборудования.

При внутреннем отвалообразовании расчеты тесно связаны с выбором и обоснованием системы разработки. Решаются следующие задачи:

- выбор и обоснование вскрышного оборудования;
- расчет параметров вскрышной и отвальной находок на основе обеспечения их равенства по ширине и площади;
- выбор и обоснование добычного оборудования на основе обеспечения равенства ширины вскрышной и добычной заходок, а также скорости продвижения вскрышного и добычного забоя.

При директивно заданной производительности по полезному ископаемому проектирование целесообразно начинать с выбора и обоснования добычного оборудования с последующим обеспечением добычных работ вскрышным и отвальным оборудованием.

Охрана окружающей среды и восстановление нарушенных земель

Открытые горные работы весьма существенно влияют на окружающую среду, главным образом из-за работы горно-транспортного оборудования. Поэтому следует рассматривать мероприятия по снижению отрицательного воздействия процессов открытых горных работ на воздушное пространство, недра, земельные и водные ресурсы. При обосновании горно-технической рекультивации выработанного пространства и отвалов выбирают наиболее рациональное направление их использования в строгом соответствии с государственными природоохранными актами.

Заключение

Авторы пособия надеются, что студенты-горняки, специализирующиеся на разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом, получили возможность достаточно полно познакомиться и освоить методы определения границ карьеров, используемые в современной проектной практике, на месторождениях рудных и угольных, химического и индустриального сырья, строительных горных пород.

Пособие дает возможность познакомиться с последними научными разработками по совершенствованию методов определения

границ карьеров крутопадающих месторождений, позволяющими учитывать негативное влияние на конечные контуры капитального вскрытия.

Наличие справочных и нормативных материалов позволит студентам выполнять курсовое и дипломное проектирование оперативно и в сжатые сроки.

Рекомендации на уровне современных требований к проектам по разработке месторождений открытым способом помогут принимать надежные решения по вскрытию систем разработки, процессам горного производства и горно-технической рекультивации выработанного пространства и отвалов.

Знакомство с изложенными материалами поможет будущим инженерам-открытчикам в проектной, производственной и научно-исследовательской работе.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Арсентьев А.И.* Вскрытие и системы разработки карьерных полей. М.: Недра, 1981.
2. *Арсентьев А.И.* Законы формирования рабочей зоны карьера / ЛГИ. Л., 1986.
3. *Арсентьев А.И.* Принятие решений о параметрах карьеров / ЛГИ. Л., 1982.
4. *Арсентьев А.И.* Сборник задач по проектированию карьеров / СПГИ. СПб, 2000.
5. *Арсентьев А.И.* Устойчивость бортов карьеров и отвалов / А.И.Арсентьев, И.Ю.Букин, В.А.Мироненко. М.: Недра, 1982.
6. *Арсентьев А.И.* Проектирование горных работ при открытой разработке месторождений / А.И.Арсентьев, Г.А.Холодняков. М.: Недра, 1994.
7. *Галустьян Э.Л.* Конструирование нерабочих бортов карьеров по критерию их устойчивости // Горный вестник. 1998. № 5.
8. *Галустьян Э.Л.* Охрана природных ресурсов и границы горного и земельного отводов карьера // Горный журнал. 1997. № 10.
9. Единая методика проектирования горно-добывающих предприятий черной металлургии при открытом способе разработки / Гипроруда. Л., 1980.
10. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом / Госгортехнадзор РФ. М., 2001.
11. *Кумачев К.А.* Проектирование карьеров / К.А.Кумачев, В.Я.Майминд. М.: Недра, 1981.
12. Нормы технологического проектирования / Гипроруда. Л., 1986.
13. Определение главных параметров карьеров / А.И.Арсентьев, О.В.Шпанский, Г.П.Константинов и др. М.: Недра, 1976.
14. Открытые горные работы: Справочник. М.: Горное бюро, 1994.
15. *Ржевский В.В.* Открытые горные работы. М.: Недра, 1985.
16. *Хохряков В.С.* Проектирование карьеров. М.: Недра, 1980.
17. *Шпанский О.В.* Производительность и границы карьеров / ЛГИ. Л., 1983.
18. *Шпанский О.В.* Сборник задач по проектированию карьеров / ЛГИ. Л., 1987.
19. *Шпанский О.В.* Добыча блочного и стенового камня / СПГИ. СПб, 1993.
20. *Шпанский О.В.* Технология и комплексная механизация добычи нерудного сырья для производства строительных материалов / О.В.Шпанский, Ю.Д.Буянов. М.: Недра, 1996.
21. *Юматов Б.П.* Строительство и реконструкция рудных карьеров / Б.П.Юматов, Ж.В.Бунин. М.: Недра, 1970.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГРАНИЦ КАРЬЕРОВ	6
1.1. Общие положения. Задачи, решаемые при определении границ карьеров.	6
1.2. Проектирование границ карьеров на вытянутых месторождениях наклонных и крутопадающих	8
1.2.1. Определение граничного коэффициента вскрыши.....	8
1.2.2. Определение углов откосов бортов карьеров в конечном положении	12
1.2.3. Номограмма взаимосвязи элементов конечного борта карьера...	17
1.2.4. Принципы оконтуривания. Определение границ карьеров на поперечных профилях.....	22
1.2.5. Нивелирование дна карьера на продольном профиле и корректирование границ на поперечных профилях.....	30
1.2.6. Построение плана карьера на конец отработки без схемы вскрытия	31
1.2.7. Абсолютные и относительные показатели конечных границ карьеров.....	33
1.2.8. Трассирование схемы капитального вскрытия.....	38
1.2.9. Оценка уровня и учет влияния капитального вскрытия	39
1.3. Определение границ карьеров, обрабатывающих столбообразные залежи	50
1.3.1. Оконтуривание карьеров на месторождениях столбообразной формы.....	50
1.3.2. Учет влияния капитального вскрытия при оконтуривании карьеров на месторождениях округлой формы.....	51
1.4. Определение границ карьеров при использовании других принципов оконтуривания	60
1.4.1. Общие положения	60
1.4.2. Влияние и учет капитального вскрытия при оконтуривании по принципу $n_r \geq n_0 + n$	60
1.5. Метод определения границ карьеров на месторождениях наклонного	
	89

и крутого падения	64
1.6. Корректирование границ железорудного карьера им. XV-летия Октября ..	67
1.7. Проектирование границ карьеров на пологих и горизонтальных месторождениях	76
1.7.1. Представительство пологих и горизонтальных месторождений ..	76
1.7.2. Оконтуривание карьеров на пологих и горизонтальных месторождениях	76
1.8. Проектные документы по определению границ карьера	77
2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ВСКРЫТИЯ, СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ, НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ И СХЕМ КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ	78
2.1. Вскрытие карьерных полей	78
2.2. Системы разработки карьерных полей	79
2.3. Направление развития горных работ в карьерном пространстве	82
2.4. Выбор горно-транспортного оборудования и схемы механизации горных работ	83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	86
РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	88

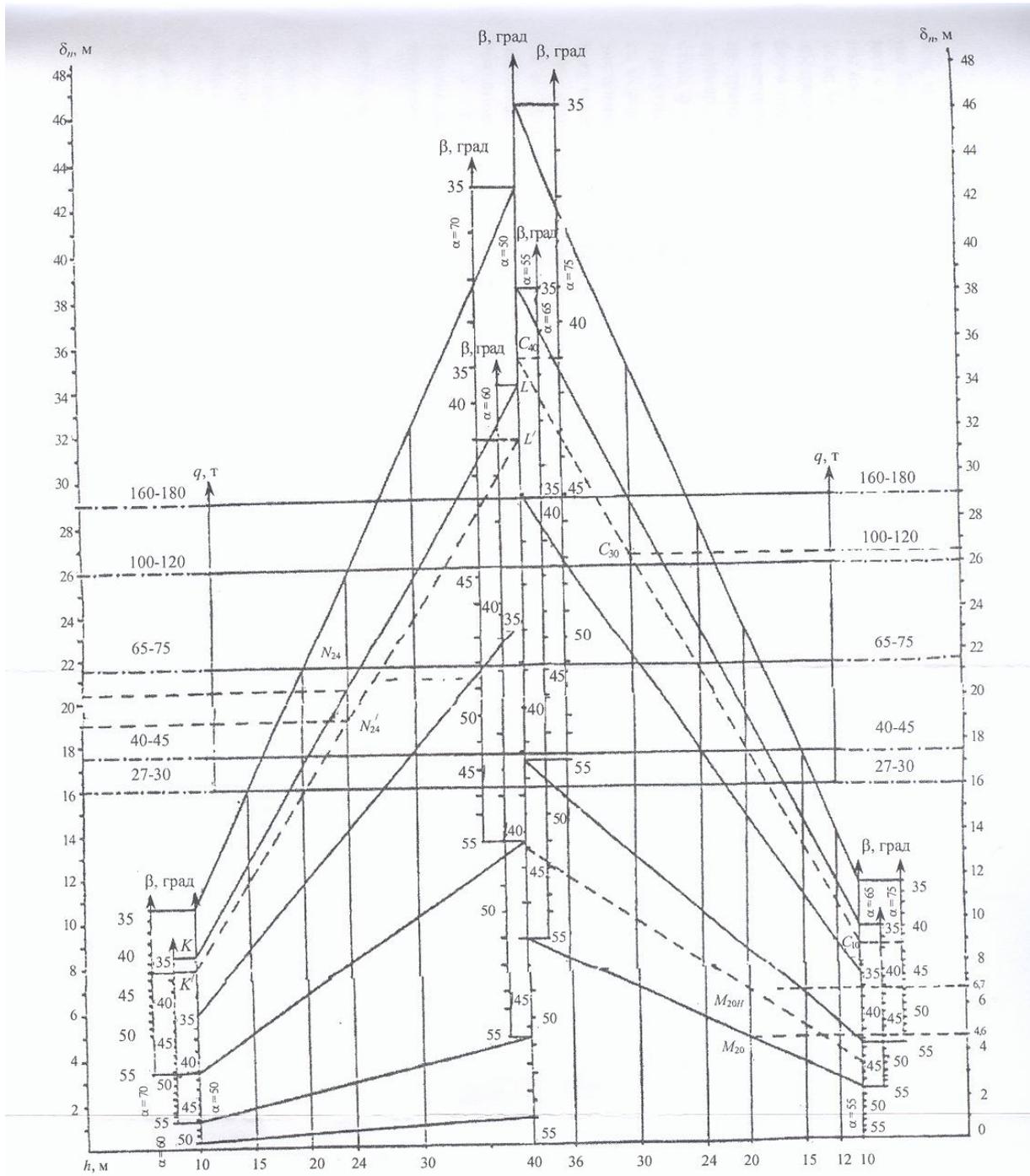


Рис.2. Номограмма определения параметров элементов борта карьера

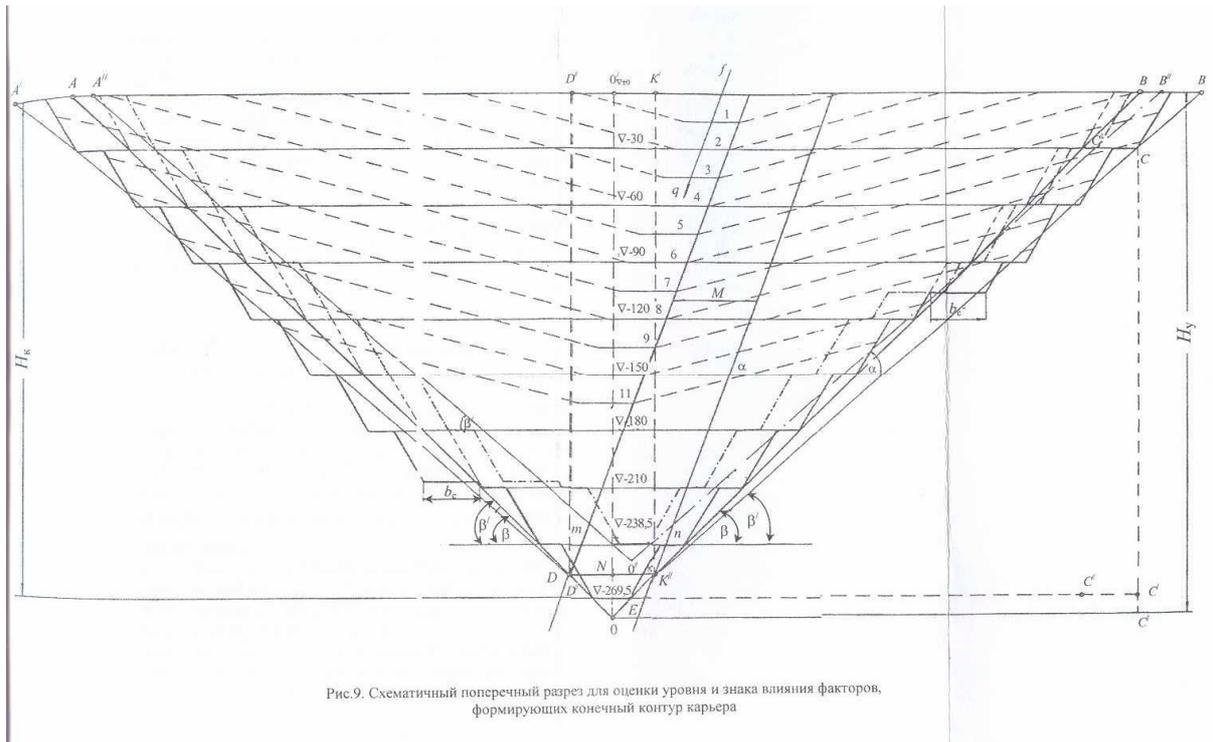


Рис.9. Схематичный поперечный разрез для оценки уровня и знака влияния факторов, формирующих конечный контур карьера