

УДК 622.271.:519.6

**А.А. Зайцева**

## **ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ КАРЬЕРА НА ВМЕСТИМОСТЬ ВНУТРЕННЕГО ОТВАЛА**

*Приведена количественная оценка объемов породы, размещаемой в выработанном пространстве, в зависимости от типа месторождения и системы его отработки. Оценивается вместимость внутреннего отвала для месторождений пологого и наклонного залегания пластов при использовании двух систем разработки карьера: продольной – углубочной и комбинированной (продольно-поперечной)*

*Ключевые слова: система разработки карьера, отвал, выработанное пространство, пологое залегание пластов.*

**Семинар № 16**

---

**A.A. Zaytseva**  
**THE INFLUENCE OF THE MINING  
SYSTEM ON THE INSIDE DUMP  
CAPACITY**

*The quantitative estimation of the rock mass volumes placed in the worked-out space depending on the deposit type and mining system is given. The capacity of the inside dump for the flat and inclined deposit layers is estimated with the regard to the two systems of the mining systems: deeping and combined (two-ways) ones.*

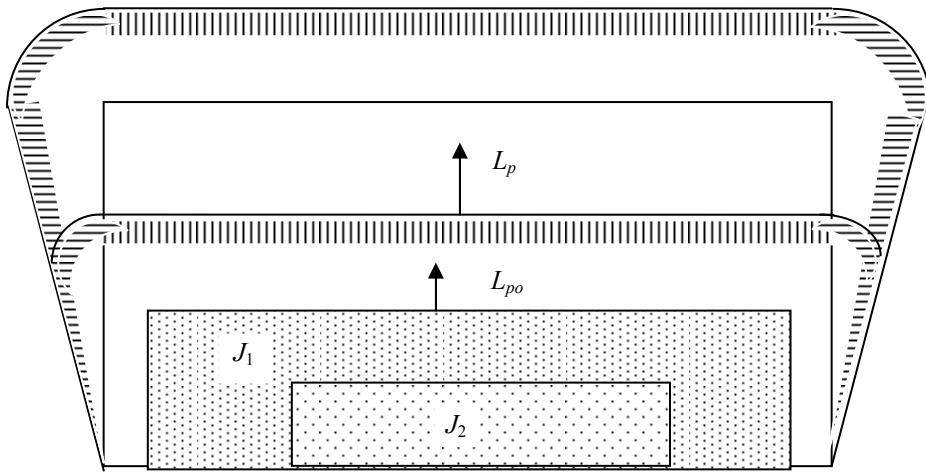
*Key words: mining system, dump, worked-out space, flat deposit layers.*

**В**ыбор порядка отработки карьерных полей связан с комплексным решением вопросов размещения максимальных объемов вскрышных пород в выработанном пространстве. Возможности внутреннего отвалообразования определяются геологическими и горнотехническими условиями месторождения и зависят от начала возведения отвала, его приемной способности, направления и скорости перемещения фронта горных и отвальных работ.

Отвал, как горный объект, получает своё завершение только к концу

разработки месторождения. В процессе же эксплуатации разреза, с момента начала формирования внутреннего отвала и до его завершения, постоянно изменяются его геометрические формы, линейные размеры, конструктивные параметры изменяют своё пространственное положение, непрерывно или периодически перемещаясь. Такая изменчивость зависит от многих факторов. Для оценки эффективности способа отвалообразования и системы разработки разреза важно с достаточной степенью точности рассчитывать горно-геометрические параметры отвала в любой заданный момент времени.

В настоящей работе дается количественная оценка объемов породы, размещаемой в выработанном пространстве, в зависимости от типа месторождения и системы его отработки. Оценивается вместимость внутреннего отвала для месторождений пологого ( $2 - 15^\circ$ ) и наклонного ( $15 - 25^\circ$ ) залегания пластов при использовании двух систем разработки карьера: продольной – углубочной, рис. 1,



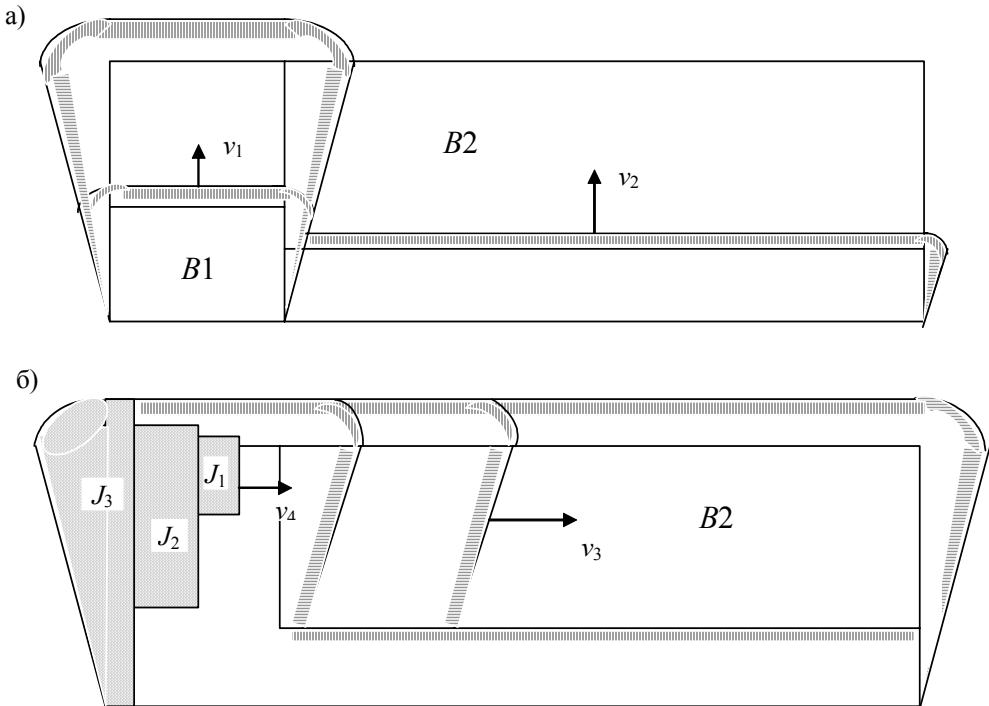
**Рис. 1. Схема отработки карьера продольной – углубочной системой с внутренним отвалом:**  $L_p$ ,  $L_{po}$  – подвигание рабочего борта карьера и отвала соответственно,  $J_1$ ,  $J_2$  – отвальные ярусы

и комбинированной (продольно-поперечной), рис. 2.

На месторождениях с пологим падением, отрабатываемых продольной системой рис. 1, направление развития отвальных работ совпадает с направлением развития рабочей зоны карьера, при этом отвал развивается вслед за добычной зоной, с некоторым отставанием от неё. В этих условиях теоретически (поскольку полезное ископаемое удаляется и занимаемое им пространство добавляется к пространству, освобождаемому от породы, что должно компенсировать разрыхление породы при укладке в отвал) существует возможность размещения в выработанном пространстве всей удаляемой породы. Однако часть освобождаемого пространства занимают коммуникации (въездные и выездные траншеи), их расположение может быть как на флангах карьера, так и в центре. По технике безопасности необходимо оставлять пространство между добычной и отваль-

ной зонами. Кроме этого при размещении вскрышных пород в отвале необходимо соблюдать безопасность работ, что обеспечивается устойчивым генеральным углом откоса рабочего борта отвала. Этот угол зависит от высоты отвала, которая на наклонном основании меняется по мере ухода работ на глубину, а, следовательно, изменяется и угол откоса рабочего борта в меньшую сторону. В связи с этим для обеспечения устойчивости на верхних ярусах временно прекращается отсыпка породы. В результате, в некоторые моменты времени, снижается приемная способность отвала.

Иная ситуация в случае наклонного залегания пластов. Невозможность возведения внутреннего отвала на наклонном основании при разработке продольными системами устраняется делением карьера на блоки. Возникающая при этом проблема стабилизации режима горных работ решается путем отработки карьерного поля двумя блоками  $B1$ ,  $B2$  разной длины с



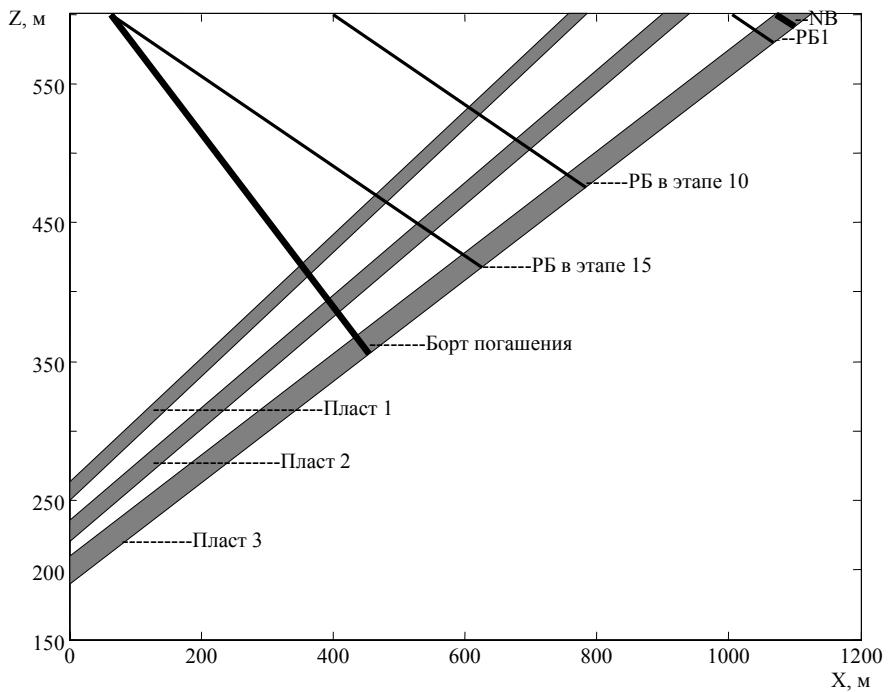
**Рис. 2. Схема отработки карьера блоками (комбинированная система) с внутренними отвалами:**  $B_1$ ,  $B_2$  – пионерный и смежный с ним блоки карьера,  $v_1$  –  $v_5$  – скорости подвигания горных и отвальных работ;  $J_1$  –  $J_3$  – номера ярусов отвала снизу вверх

использованием на первом этапе ( $T_1$ ) продольной, а на втором ( $T_2$ ) – поперечной систем, рис. 2. В течение  $T_1$  добыча ведется в  $B_1$  и частично в  $B_2$  ( $B_{21}$ ) с размещением вскрышных пород на внешнем отвале, а в период  $T_2$  – в оставшейся части  $B_2$  ( $B_{22}$ ) с транспортом пород во внутренний отвал. Таким образом, объем размещаемой во внутреннем отвале вскрыши ограничивается не столько вместимостью отвала, сколько объемами породы в блоке  $B_{22}$ , т.е. его размерами, которые в свою очередь зависят от принятого режима отработки карьера первой очереди.

Таким образом, на месторождениях с пологим залеганием пластов,

объем размещаемой породы ограничивается только вместимостью отвала. На наклонных месторождениях на объемы внутреннего отвалообразования существенное влияние оказывает режим горных работ.

Оценка объемов внутреннего отвала произведена с помощью математических моделей месторождения, систем отработки карьера, алгоритмов оптимизации режима горных работ при использовании комбинированной системы отработки, моделей развития внутреннего отвала в динамике отработки карьера на пологом и наклонном основании [1, 2]. Программное обеспечение разработано в ИГД СО РАН.



**Рис. 3. Схема отработки месторождения продольной системой в плоскости вертикального разреза. Нерабочий борт РБ – рабочий борт в этапах 1, 10, 15, углы наклона пластов 1, 2, 3 соответственно 24, 22, 20°, рельеф равнинный с отметкой 600 м**

Модель месторождения представлена уравнениями рельефа поверхности ( $n=0$ ), почвы и кровли угольных пластов ( $n=1,\dots,N$ )

$$\begin{cases} z = x \cdot \operatorname{tg} \beta_n + c_n \\ z = y \cdot \operatorname{tg} \alpha_n + c_n \end{cases}, \quad n = 0, \dots, N,$$

где  $N$  – количество пластов месторождения,  $\alpha_n$ ,  $\beta_n$  – углы наклона рельефа поверхности ( $n=0$ ) и разделительных поверхностей  $n$ -го пласта, соответственно, в направлениях по падению и простиранию нижнего пласта.

Математическая модель развития карьера представляет собой совокупность моделей месторождения, промежуточных и конечных контуров карьера, рис. 3.

Для имитации динамики развития горных работ весь период отработки карьера делится на ряд этапов, характеризуемых фиксированным подвиганием фронта горных работ по почве нижнего пласта ( $L_p$ ). Извлекаемая за этап горная масса заключена между смежными положениями рабочего борта, отстроенного в начале и конце этапа. Рабочий борт карьера моделируется в плоскости профиля. Объединение этих плоских моделей в пространственную модель производится в процессе расчета поэтапных объемов вскрышных пород и полезного ископаемого.

Модель отработки карьера продольной (поперечной) системой, ими-

тирующая развитие горных работ в плоскостях системы профилей  $P_y$  ( $P_x$ ) содержит уравнения пластов, рельефа, бортов карьера (рабочего, погашения горных работ), и торцов карьера.

Уравнения рельефа ( $n=0$ ) и разделительных поверхностей пласта ( $n=1, \dots, N$ ) в плоскости профиля  $p_{y,i}$  ( $p_{x,i}$ ) имеют вид:

$$\begin{cases} z = y \cdot \operatorname{tg} \alpha_n + c_n + \\ + \left( \sum_{j=1}^i R_j \right) \operatorname{tg} \beta_n \in p_{y,i}, \\ z = y \cdot \operatorname{tg} \beta_n + c_n + \\ + \bar{R}_i \cdot \operatorname{tg} \alpha_n \in p_{x,i} \end{cases},$$

уравнения рабочего борта

$$\begin{cases} z = -y \cdot \operatorname{tg} \alpha_r + z_{k,i} + \\ + y_{k,i} \cdot \operatorname{tg} \alpha_r \in p_{y,i} \\ z = x \cdot \operatorname{tg} \alpha_r + z_{k,i} - \\ - x_{k,i} \cdot \operatorname{tg} \alpha_r \in p_{x,i} \end{cases}, \quad (1)$$

где  $\alpha_r$  – угол откоса рабочего борта;  $(y_{k,i}, z_{k,i})$ ,  $(x_{k,i}, z_{k,i})$  – координаты его положения в этапе  $k$  ( $k=1, \dots, k_i$ ) на почве нижнего пласта профиля  $i$ , соответственно, в  $P_y$  и  $P_x$ .

Уравнения борта в конечном положении (борт погашения)

$$\begin{cases} z = -y \cdot \operatorname{tg} \alpha_p + z_{dnp,i} + \\ + y_{dnp,i} \cdot \operatorname{tg} \alpha_p \in p_{y,i} \\ z = x \cdot \operatorname{tg} \alpha_p + z_{dnp,i} - \\ - x_{dnp,i} \cdot \operatorname{tg} \alpha_p \in p_{x,i} \end{cases},$$

где  $\alpha_p$  – угол откоса борта погашения;  $(y_{dnp,i}, z_{dnp,i})$ ,  $(x_{dnp,i}, z_{dnp,i})$  – координаты его нижних бровок на профиле  $i$ , соответственно, в  $P_y$  и  $P_x$ .

Объем полезного ископаемого и породы в этапе  $m$   $V_{k,m} = \sum_{i=2}^{i_{ky}} V_{k,m}^{(i)}$  рас-

считывается как сумма объемов  $V_{k,m}^{(i)}$  фигур, ограниченных разделительными поверхностями пластов  $k$ , плоскостями рабочего борта в этапах  $m$  и  $(m-1)$  и плоскостями профилей  $(i-1)$  и  $i$ .

В результате моделирования отработки  $B1$ ,  $B2_1$ , и  $B2_2$  получаем функциональные зависимости извлекаемых вскрышных пород  $VB(Lp)$  и полезного ископаемого  $VY(Lp)$  для каждого из блоков.

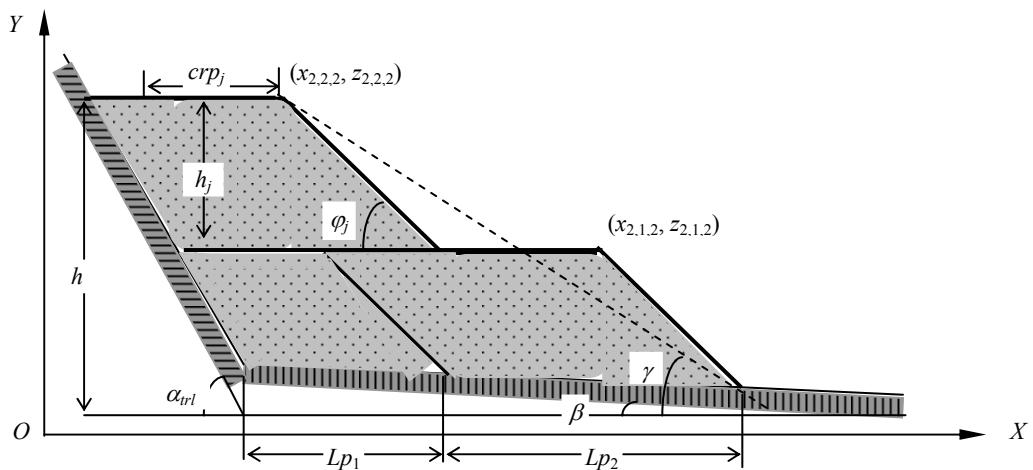
*Модель развития внутреннего отвала* при отработке карьера продольной или комбинированной системой, имитирует развитие отвальных ярусов в плоскостях системы профилей

$$P_x = \{p_{x,n} | y = y_n, n = 1, \dots, n_{kx}\}$$

$$(P_y = \{p_{y,n} | x = x_n, n = 1, \dots, n_{ky}\})$$

и содержит уравнения почвы нижнего пласта, рельефа, бортов карьера (рабочего, погашения горных работ, торцевого). Кроме этих данных в модели используется специфические для отвала информация: границы отвода для отвала на флангах, предельно допустимая высота отвала, технологические параметры отвальных ярусов, физико-механические свойства подстилаемых и складируемых пород и динамика развития карьера в виде годового или поэтапного подвигания рабочей зоны. Влияние физико-механических свойств пород, а также гидрогеологические условия в конечном итоге отображаются в виде функциональных зависимостей  $F(H, \alpha_n, \beta) = 0$ , где  $H$  – высота отвала,  $\alpha_n$  – угол наклона подотвальной поверхности,  $\beta$  – устойчивый угол откоса борта отвала.

В результате моделирования строится  $VO(Lp)$  – зависимость геометрической приемной способности отвала от подвигания его фронта работ.



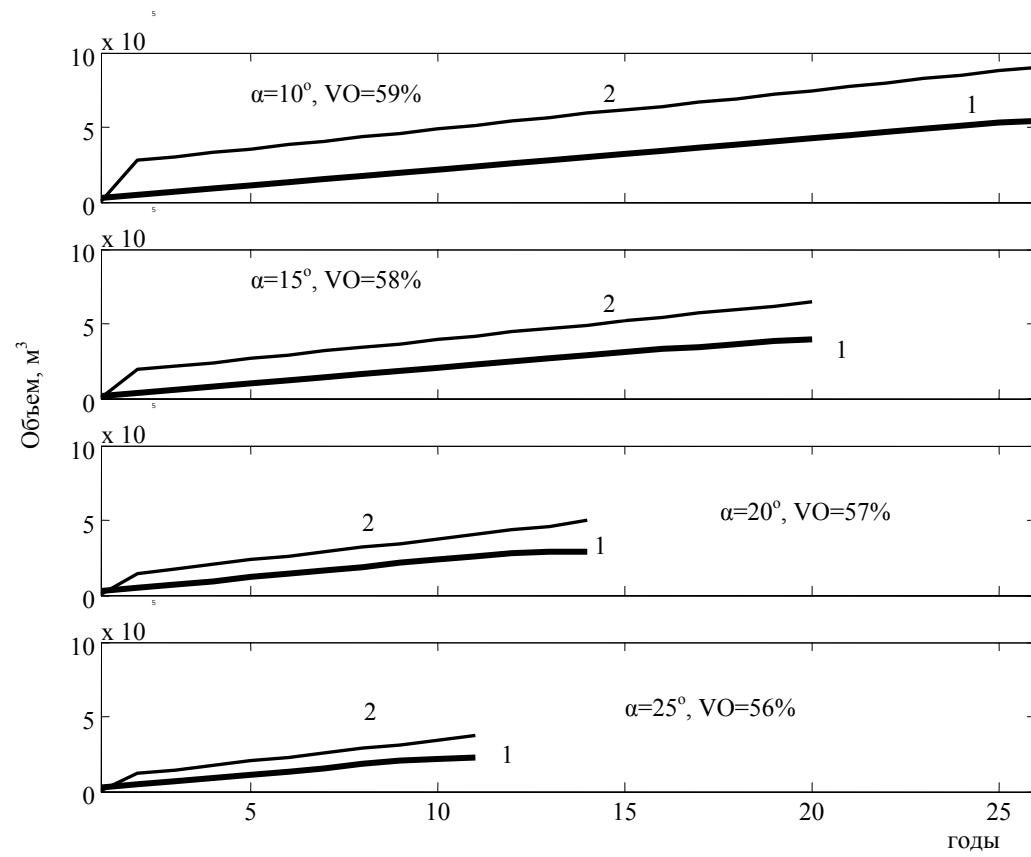
**Рис. 4. К моделированию развития внутреннего отвала на наклонном основании:**  
 $Lp_1, Lp_2$  – подвигание отвала за этап или год;  $\varphi_j$  – естественный угол откоса отвального яруса;  $crp_j, h_j$  – ширина рабочей площадки и высота яруса;  $h$  – высота отвала;  $x_{2,1,2}, z_{2,1,2}$  – координаты бровки яруса в этапе на профиле

Модели реализованы в программные модули и результаты расчетов представлены на рис.5, 6. Расчеты проводились для месторождения из трёх пластов, суммарной мощностью 49 м., рельеф равнинный. Глубина карьера 250 м, длина 5 км. Углы наклона торцов карьера приняты  $40^\circ$ , угол борта погашения  $32^\circ$ . При моделировании отработки месторождения блоками длина пионерного блока принята 1.5 км, длина смежного с ним 3.5 км. Величина  $Ly_{2,1}$  рассчитывалась в процессе поиска рационального режима горных работ, обеспечивающего возможный максимум внутреннего отвала, поэтому для всех величин  $\alpha_n$  она имела разные значения. Поскольку изначально задавалась не длина карьера по падению пластов  $Ly$ , а его глубина, длина, как производная от глубины, для разных углов падения нижнего пласта различна. Это сказывается на количестве лет отработки карьеров рис. 4, поскольку годовая производительность карьера

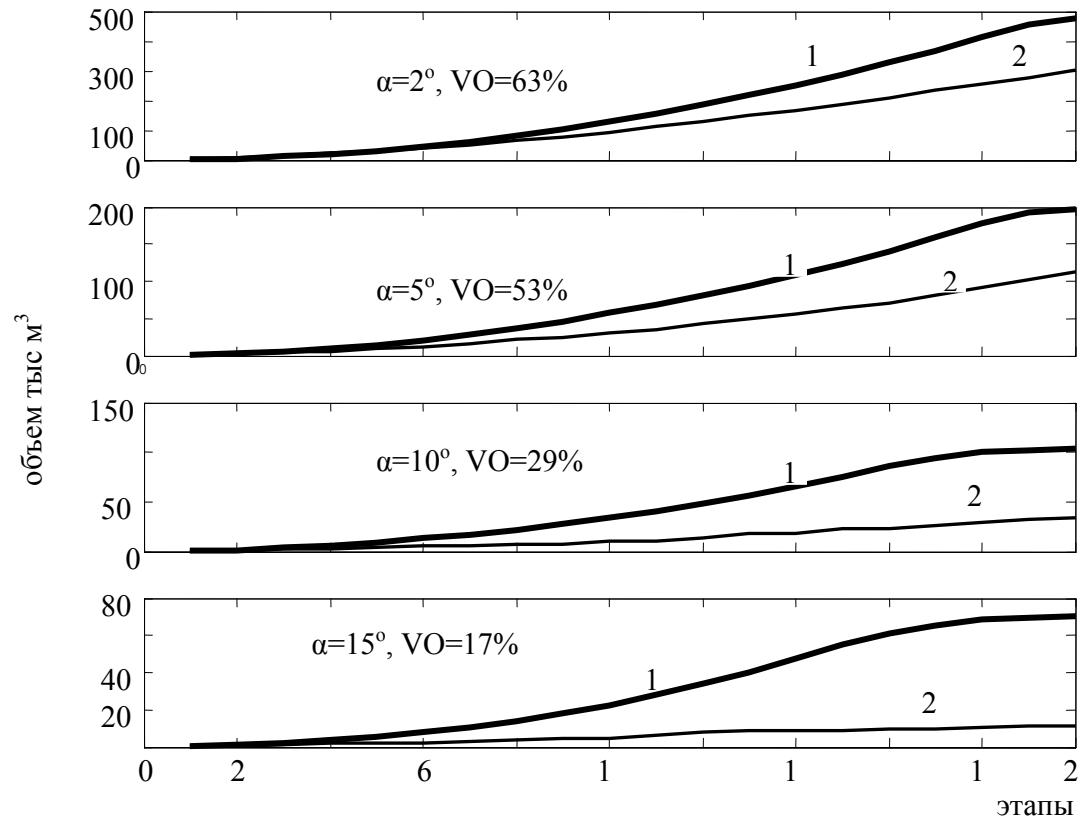
по полезному ископаемому была задана одинаковой.

На пологом месторождении углы наклона торцов отвала приняты равными  $40^\circ$ , при этом один из торцов совпадает с торцом карьера. Отставание от добывчной зоны принято нулевым. Динамика моделировалась этапами с одинаковым подвиганием горных работ.

Моделирование отвала на наклонном основании осуществлялось в предположении, что угол наклона почвы нижнего пласта по простиранию  $\beta=0$ . Один из торцов отвала примыкает к борту погашения карьера и имеет угол наклона равный  $32^\circ$ , второй –  $40^\circ$ . Нерабочий борт отвала совпадает с торцом карьера. Динамика моделировалась годовым подвиганием, величина которого равна подвиганию рабочей зоны карьера, обеспечивающему заданную его производительность по полезному ископаемому. Поскольку к моменту начала отработки блока  $B2_2$ , порода из которого



**Рис. 5. Объем вскрыши (1) и вместимость (2) внутреннего отвала при отработке наклонных залежей карьером с разделением на блоки:**  $\alpha$  – угол наклона нижнего пласта (подотвальная поверхность); VO – вместимость отвала в процентном отношении к объему вскрышных пород (с учетом коэффициента разрыхления породы)



**Рис. 6. Объем вскрыши (1) и вместимость внутреннего отвала (2) при отработке месторождения с пологим залеганием пластов продольной системой разработки:  $\alpha$  – угол наклона нижнего пласта (подотвальная поверхность); VO – вместимость отвала в процентном отношении к объему вскрышных пород (с учетом коэффициента разрыхления породы)**

размещается во внутреннем отвале, имеется значительное выработанное пространство блока *B1*, вместимость отвала значительно превышает объемы вскрышных пород, рис. 5.

Представленные на рис. 5 и 6 результаты расчета объемов вскрышных пород и вместимости отвала свидетельствуют о том, что как на пологих, так и на наклонных месторождениях на внутреннем отвале может быть размещена только часть

вскрыши (от 63 до 17%). При этом наиболее благоприятны условия при малых углах падения пластов. Сравнение двух систем отработки на месторождениях с углом падения нижнего пласта  $10^{\circ}$  и  $15^{\circ}$  свидетельствует о предпочтительности, с точки зрения объемов внутреннего отвала, применения комбинированной системы, так как для неё объемы отвала в 2–2.5 раза выше.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев Е.И., Зайцева А.А. Компьютерная технология выбора параметров внутреннего отвала и карьера, отрабатывающего наклонное месторождение. // ФТПРГИ.- 2001.- № 5.
2. Зайцева А.А. Оптимизация вместимости внутреннего отвала на наклонном месторождении // Горный информационно-аналитический бюллетень. – МГТУ 2003 г.– № 5. ГИАБ

#### Коротко об авторе

Зайцева А.А. – Институт горного дела Сибирского отделения РАН, evg@misd.nsc.ru



#### ДИССЕРТАЦИИ

#### ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
<b>ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА УрО РАН</b>			
АНТИПИН Юрий Георгиевич	Обоснование технологии камерной выемки с увеличенными геометрическими параметрами при разработке медноколчеданных месторождений Урала	25.00.22	к.т.н.