

УДК 622.271.:519.6

А.А. Зайцева, Г.Д. Зайцев

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАЛЬНОГО РЕСУРСА
ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА КАРЬЕРОВ
ДЛЯ ВНУТРЕННЕГО ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ
ПРИ РАЗРАБОТКЕ НАКЛОННЫХ УГОЛЬНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Выполнены исследования по установлению закономерностей формирования и количественной оценке использования выработанного карьерного пространства для размещения внутренних отвалов в процессе отработки наклонных пластовых месторождений блоками с использованием продольной углубочной и сплошной поперечной систем разработки.

Ключевые слова: открытая добыча, подвигание фронта, горная порода, рельеф, полезные ископаемые.

На современном этапе открытой добычи полезных ископаемых одним из основных направлений ресурсосбережения и охраны окружающей среды является применение технологий с размещением вскрышных пород в выработанном пространстве карьеров.

Идея использования внутреннего отвалообразования известна более полувека, однако при отработке наклонных и крутопадающих залежей пока ограничено применяется складирование пород в предварительно подготовленной рабочей зоне. Для более широкого внедрения таких технологий необходимо выполнить более глубокие исследования возможности использования реального ресурса выработанного пространства карьеров с учетом комплексного решения вопросов этапности отработки месторождений различного типа, режима вскрышных и отвальных работ и грузопотока горной массы [1, 2].

Критерием оценки реального ресурса выработанного пространства карьера при размещении вскрышных пород в процессе горных работ является коэффициент использования выработанного пространства $K = V_o/V_k$, или доля пород складированных внутри карьера $D = V_o/V_b$, %, где V_o — объем пород размещенных во внутреннем отвале; V_k — объем выработанного пространства карьера (потенциальный ресурс выработанного пространства); V_b — объем отработанной вскрыши в контурах карьера.

В ИГД СО РАН выполнены исследования по установлению закономерностей формирования и количественной оценке использования выработанного карьерного пространства для размещения внутренних отвалов в процессе отработки наклонных пластовых месторождений блоками с использованием продольной углубочной и сплошной поперечной систем разработки.

Для этих целей были разработаны [3—5]:

- математические модели месторождения и технологических схем его отработки; развития внутреннего отвала в динамике отработки карьерного поля; оптимального размещения пород по ярусам.

- алгоритмы оптимизации режима горных работ для продольной и комбинированной систем разработки.

Ниже представлены основные результаты исследований проведенных с использованием программного обеспечения, реализующего перечисленные модели и алгоритмы.

Основная особенность внутреннего отвала при отработке наклонных, как и крутопадающих, месторождений заключается в том, что возможность его создания появляется только после достижения конечных контуров передовым карьером. Это обуславливает деление карьерного поля на блоки, размеры и последовательность отработки которых могут быть различными, а воспроизводство выработанного пространства как непрерывным так и дискретным (рис. 1).

При отработке карьерного поля двумя блоками с использованием продольной углубочной (в I — B_1 , частично в II — B_{2_1} , рис. 1, Ia) и поперечной (в оставшейся части B_{2_2} , рис. 1, Ib) систем разработки, вместимость внутреннего отвала зависит от соотношения длин пионерного блока и карьера в целом, рис. 2. Направления подвигания фронта отвальных и добычных работ при доработке второго блока совпадают (рис. 1, Ib), а выработанное пространство прирастает непрерывно. Объем размещаемой в выработанном пространстве вскрыши ограничивается не столько вместимостью отвала, сколько объемами пород в блоке B_{2_2} , т.е. размерами блока, которые зависят от

рационального графика режима горных работ карьера первой очереди, рис. 3. Таким образом, возможности использования выработанного пространства для отвалообразования существенно зависят от режима горных работ и допустимой скорости подвигания фронта работ отвальных ярусов, особенно в первые годы развития отвала.

В зависимости от начала работ по созданию выработанного пространства и соотношения скоростей подвигания фронта горных работ в блоках первой очереди (B_1 , B_{2_1}) график текущего коэффициента вскрыши характеризуется резкими колебаниями. Стабилизация режима горных работ осуществляется поиском для B_1 и B_{2_1} в период первой очереди отработки карьера таких скоростей подвигания фронта работ и для B_{2_2} в переходный от продольной к поперечной системе разработки период таких поэтапных углов откоса рабочего борта, которые при сохранении заданной производительности карьера обеспечивали бы минимум среднеквадратичного отклонения текущего коэффициента вскрыши от среднего коэффициента вскрыши переходного периода. В процессе поиска рационального режима устанавливается также L_{2_1} , ширина блока B_{2_1} , обеспечивающая наилучший режим горных работ.

Расчеты выполнялись для месторождений с углом падения пластов $15\text{—}25^\circ$, суммарной мощностью 40 м и равнинным рельефом. Параметра карьера варьировались в пределах: длина 4—7 км, глубина 150—350 м, длина передового блока от 400 м и выше.

Расчетами установлено, что доля вскрышных пород, которая может быть направлена на внутренний отвал существенно зависит от величины

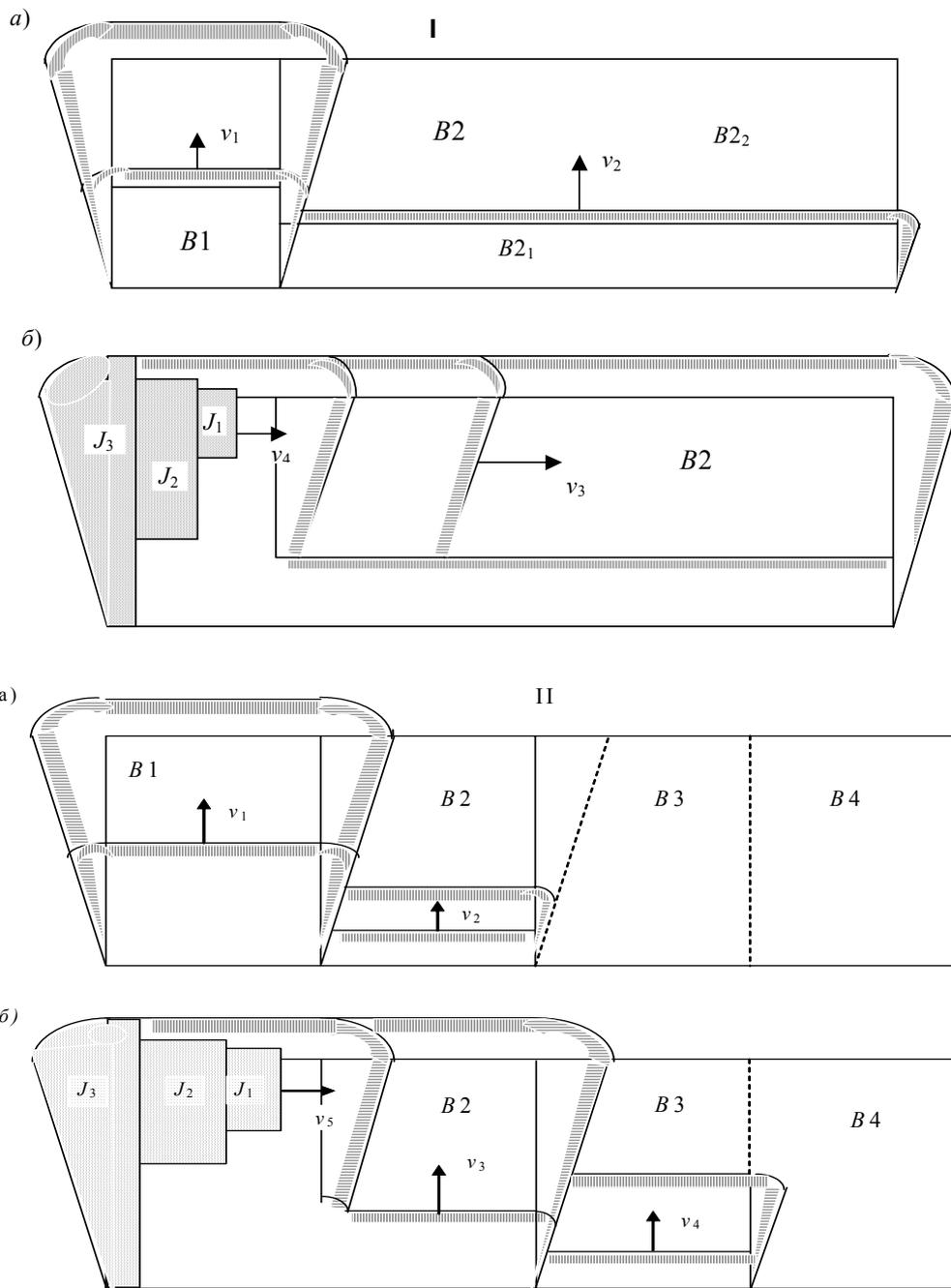


Рис. 1. Обработка карьерного поля блоками с использованием продольно-поперечной (I) и продольной (II) систем разработки: B1, ..., B4 — номера блоков, а, б — этапы работ; ↑, v₁—v₅ — направление и скорость продвижения горных и отвальных работ; J₁—J₃ — номера ярусов отвала

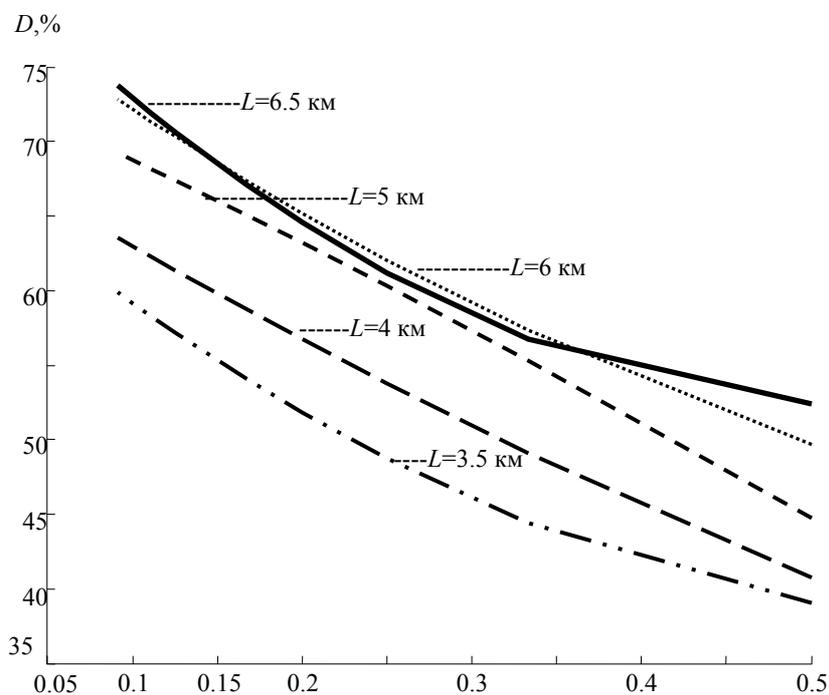


Рис. 2. Доля вскрышных пород, направляемых на внутренний отвал, от общего объема вскрыши в зависимости от $k = L_1/L$, где L_1 , L — длина первоочередного блока и карьера соответственно

отношения длины блока B_1 к длине карьера, рис. 2. Установлено также, что рациональный режим горных работ может быть получен в нескольких вариантах, рис. 3, отличающихся продолжительностью отработки первой очереди карьера и размерами B_2 , следовательно, и объемами вскрыши направляемой на внутренний отвал. Выполаживание графика коэффициента вскрыши первой очереди отработки карьера влечёт уменьшение доли внутреннего отвала.

Разработанное программное обеспечение позволило исследовать влияние геометрических и технологических параметров на объем внутреннего отвала. Результаты расчетов, проведенных для широкого диапазона параметров, свидетельствуют, что в зависимо-

сти от их сочетания на внутренний отвал может быть направлено от 40 до 80 % пород от общего объема вскрыши в контурах карьера, рис. 4. Влияние этих параметров на размеры выработанного пространства и возможности его использования для складирования пород не одинаково. Так изменение длины карьера от 4 до 7 км увеличивает долю вскрышных пород, размещаемых внутри карьера на 20—25 %, рис. 2. С ростом глубины карьера величина её снижается, причём происходит это как следует из графиков неравномерно, рис. 4. Сокращение длины пионерного блока от 1200 до 400 м приводит к росту D от 10 до 25 % в зависимости от глубины и длины карьера, рис. 4 а– в.

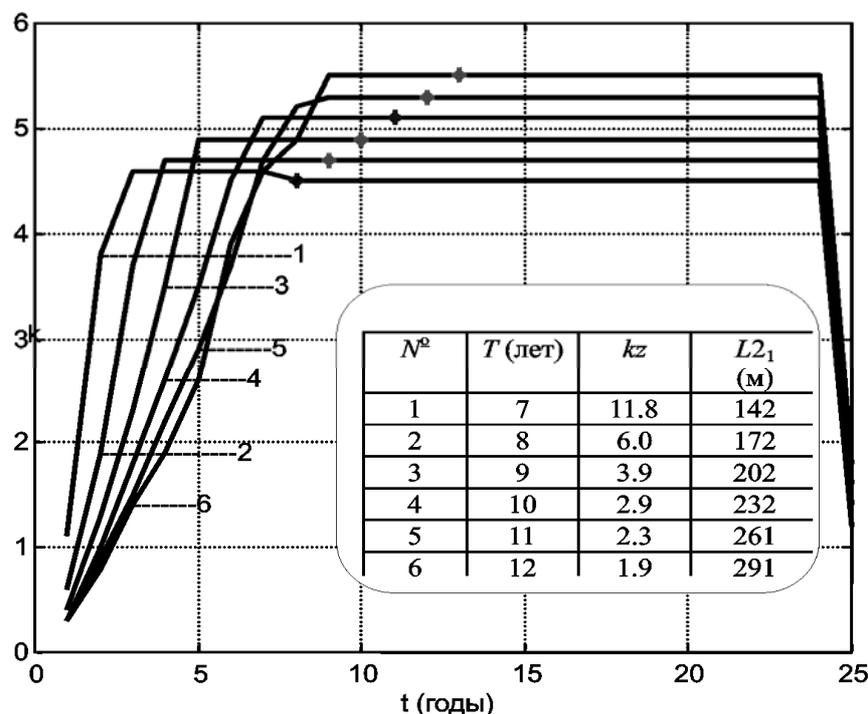


Рис. 3. Варианты (1—6) режима отработки месторождения с углом падения пласта 20°, размерами карьера (L = 4 км, H = 250 м): * начало отработки B₂₂; T — количество лет отработки первой очереди карьера, kz — отношение скоростей подвигания горных работ в блоках B₁ и B₂₁, L₂₁ — длина по падению блока B₂₁; D — доля вскрыши на внутренний отвал

Анализ графиков, рис. 4., показывает, что для каждой глубины карьера существует критическая его длина, выше которой прирост D становится незначительным. Так, для H = 150 м, такая длина составляет 6 км (рис. 4а), а когда H = 250 и 350 м, соответственно 7 км (рис. 4в). С ростом H при постоянной длине передового блока (рис. 2 г) D уменьшается на 5—10 % в зависимости от длины карьерного поля.

Для оценки варианта отработки карьера блоками при продольной системе, рис. 1 II, необходимо было: 1) определить длины спаренных блоков, при которых обеспечивается максимальное размещение вскрышных по-

род в выработанном пространстве; 2) разработать методику формирования режима горных работ, график текущего коэффициента вскрыши которого не содержит резких колебаний.

Первая задача обусловлена тем, что при отработке наклонного месторождения блоками продольной системой выработанное пространство прирастает дискретно, на длину отработанного блока. Поэтому, за исключением пионерного блока, вскрыша которого направляется на внешний отвал, во внутренний отвал предыдущего блока можно разместить объемы породы равные его вместимости. В случае произвольно выбранных длин блоков появляются объемы

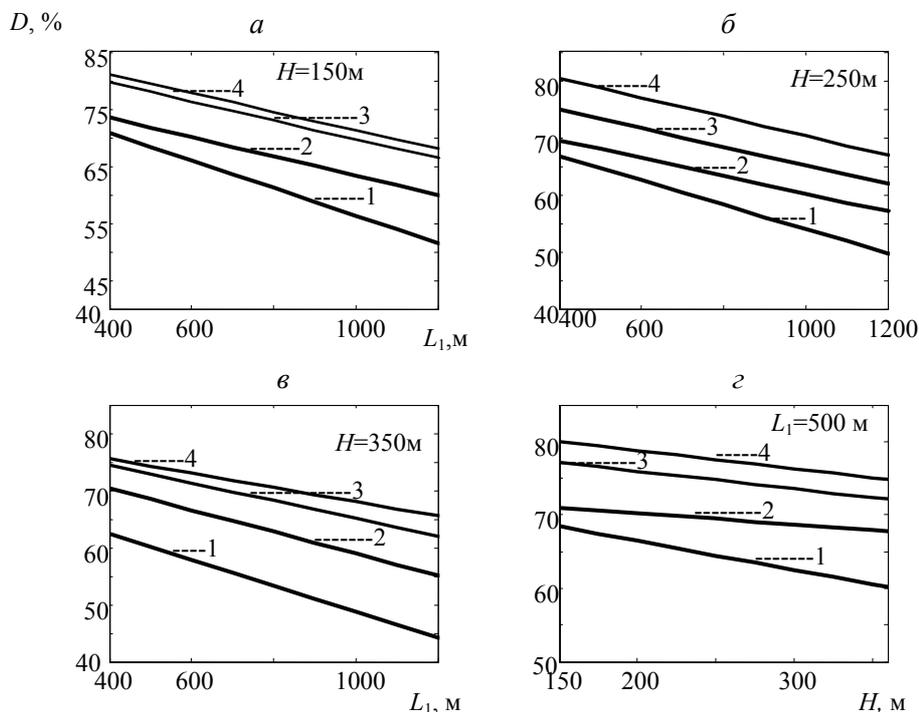


Рис. 4. Доля вскрышных пород размещаемых на внутреннем отвале в зависимости от глубины карьера H и размера пионерного блока L_1 . (1–4 соответствуют длине карьера $L=4, 5, 6, 7$ км)

вскрыши, не вмещающиеся на внутреннем отвале. Если же длина блоков выбрана оптимально, то на внешний отвал направляется только порода из пионерного блока. Рациональная длина блоков позволяет повысить долю вскрыши, размещаемой на внутреннем отвале до 10 %. Однако режим вскрышных работ при отработке карьера изолированными блоками очень неравномерен.

Возможность сглаживания графика вскрышных работ появляется в случае отработки карьерного поля спаренными блоками, которая предполагает, что за время выемки горной массы в B_i блок B_{i+1} , $i=1, \dots, n$, используется частично, для снижения величины коэффициента вскрыши. Нужно определить рациональную

длину этих блоков, но на этапе решения этой задачи размер части B_{i+1} обрабатываемой совместно с B_i , неизвестен. При поиске длины блоков необходимо его знать, поскольку в выработанном пространстве B_i должна разместиться порода извлеченная из оставшейся части B_{i+1} и первой части B_{i+3} . С целью конкретизации размера этой части, в качестве её меры вводится понятие "коэффициент использования блока" — $k < 1$, показывающий, какая часть горной массы из блока ($i+1$) извлекается параллельно с разработкой первого. Алгоритм расчета предусматривает поиск не только собственно длины блока B_i , но и k_{i+1} последующего. В процессе решения задачи

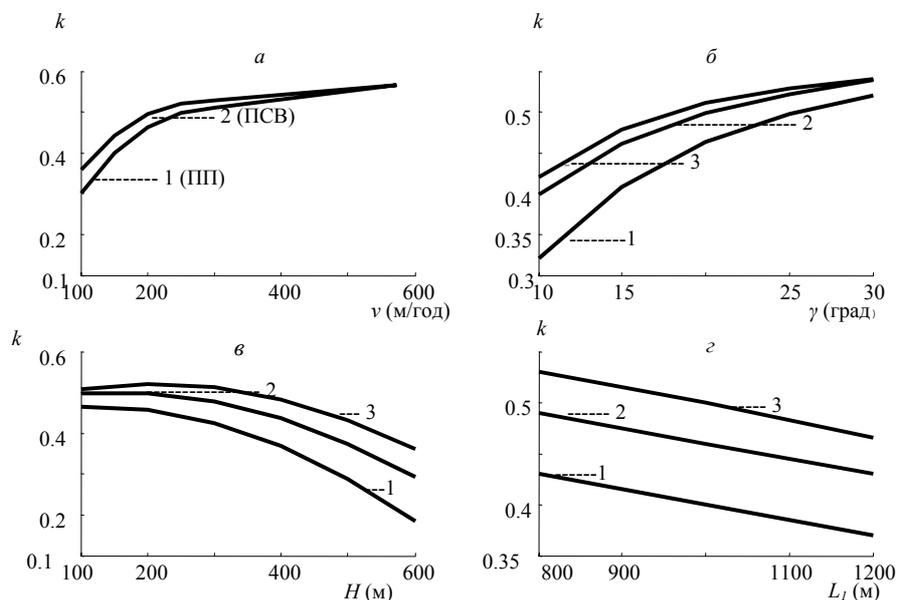


Рис. 5. Влияние параметров отвала и карьера на коэффициент использования выработанного пространства карьера ($L = 5$ км, $\alpha = 20^\circ$). Скорость подвигания рабочего борта отвала (а), угол откоса рабочего борта отвала (б), глубина карьера (в) и длина пионерного блока (г). (ПП) — продольно-поперечная система, (ПСБ) продольная система при спаренных блоках. 1, 2, 3 — (б) скорость подвигания рабочего борта отвала 150, 200, 225 м/год.; (в, г) — угол наклона рабочего борта отвала 10, 15 и 20°

производится поиск $L_i, k_i, (i=1, \dots, n)$, для которых выполняется равенство:

$$VO_{i-1} = (1 - k_i) \cdot VB_i + k_{i+1} \cdot VB_{i+1}$$
 где VO_{i-1} — вместимость отвала, расположенного в блоке B_{i-1} ; VB_i, VB_{i+1} — объем вскрышных пород в блоках B_i, B_{i+1} ; k_i, k_{i+1} — коэффициенты использования блоков.

Алгоритм решения задачи приведен в [8]. Результаты расчетов на рис. 5а показывают преимущество продольной системы спаренными блоками (ПСБ) по сравнению с продольно-поперечной (ПП). На рис. 5б-г приведены зависимости коэффициента использования выработанного пространства карьера от различных параметров при отработке карьерного поля продольно-поперечной системой. Из графиков следует, что при

разработке наклонных залежей коэффициент использования выработанного пространства карьера длиной 5 км и глубиной 200—500 м изменяется от 0.2 до 0.65.

Исследования [6] использования выработанного пространства карьера на месторождениях с углом падения пластов $8 - 15^\circ$ (рис.6) позволили сделать вывод о целесообразности применения вместо продольной — продольно-поперечной системы разработки, так как при этом объем внутреннего отвала возрастает на 15 — 30 %. Применение отсыпки отвала в двух направлениях (сначала по падению залежи, а потом по простиранию) при этой же системе позволяет увеличить долю внутреннего отвала на 17 — 40 % в зависимости

Зависимость устойчивого угла откоса борта отвала от его высоты и угла наклона основания

Угол наклона основания отвала, α , градус	Устойчивый генеральный угол откоса рабочего борта отвала β (град.) при высоте отвала H , м						
	30	50	100	200	300	400	500
0	36.1	29.3	24.7	22.8	21.9	21.6	21.4
3	35.2	28.0	23.5	21.6	21.0	20.4	19.8
5	34.5	27.1	22.4	20.2	19.8	19.5	19.3
7	33.6	26.0	21.4	19.3	18.3	17.3	16.3
10	32.0	24.6	19.7	16.0	12.2	8.5	4.8

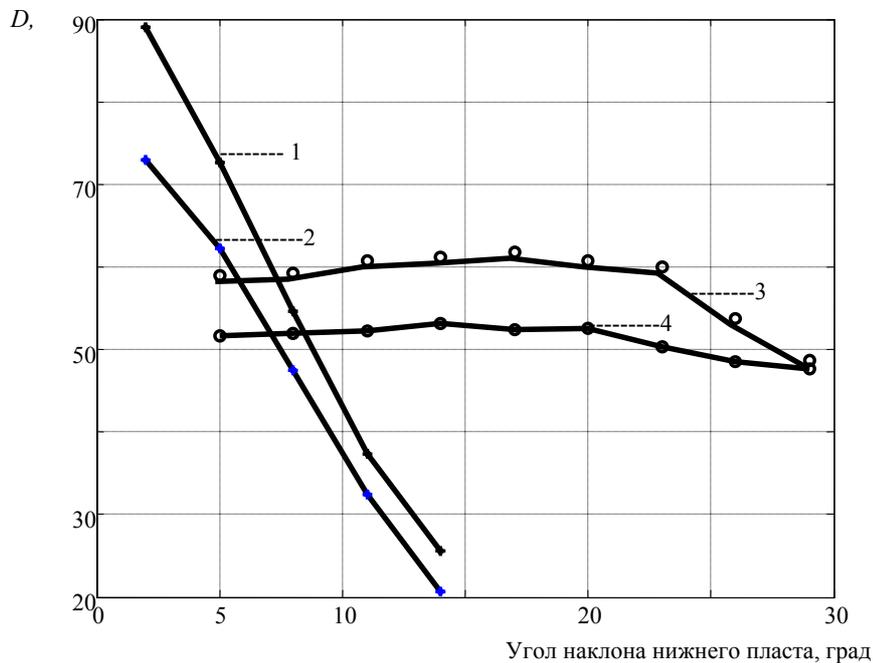


Рис. 6 Доля вскрышных пород D из общего объема вскрыши, размещаемых на внутреннем отвале карьера глубиной 250 м., длиной 5 км (1, 3) и 3 км (2, 4) отработываемого продольной (1, 2) и комбинированной (3, 4) системами

от угла наклона подотвальной поверхности (но не больше 15°).

Отметим, что при моделировании геометрических форм внутреннего отвала использовалась функциональная зависимость $F(H, \alpha, \beta) = 0$, которая определена в виде табличной зависимости генерального угла откоса рабочего борта отвала β от угла на-

клона основания отвала α и высоты отвала H . Значения β получены путем интерполяции данных приведенных в [7].

Заключение

Изучение закономерностей формирования выработанного пространства карьеров при отработке наклонных месторождений показы-

вает, что во внутреннем отвале может быть размещено от 20 до 80 % вскрышных пород. Максимальное размещение пород в выработанном пространстве достигается при определенном сочетании длин блоков, режима вскрышных и отвальных работ. Предложенные

модели позволяют определить рациональные параметры системы разработки с внутренним отвалообразованием при отработке наклонных пластовых месторождений блоками и обеспечить увеличение на 10 — 40 % объемов внутреннего отвала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубецкой К.Н., Пешков А.А., Мацко Н.А. Перспективы использования малоотходной технологии с внутренним отвалообразованием на глубоких карьерах // Уголь. — 1998. — №1 — с. 24—29.
2. Коваленко В.С. Принципы управления техногенным ресурсом выработанного пространства карьеров // Открытые горные работы. Пилотный номер. — 1999.
3. Васильев Е.И., Зайцева А.А., Ческидов В.И. Стабилизация режима горных работ при отработке наклонных месторождений блоками. // ФТПРПИ. — 1999. — №6.
4. Васильев Е.И., Зайцева А.А. Компьютерная технология выбора параметров внутреннего отвала и карьера, обрабатывающего наклонное месторождение. // ФТПРПИ. — 2001. — № 5.
5. Зайцева А.А. Об оптимизации режима внутреннего отвалообразования при отработке месторождения с разделением на блоки // ФТПРПИ. — 1996. — №5.
6. Зайцева А.А., Ческидов В.И., Зайцев Г.Д. Влияние порядка отработки карьерного поля на вместимость внутреннего отвала // ФТПРПИ. — 2007. — №5.
7. Поклад Г.Г., Шпаков П.С., Долгоносков В.Н. Разработка научных рекомендаций по параметрам внутренних отвалов на Шубаркольском разрезе // Горный информационно-аналитический бюллетень. — МГУ 2000 г. — № 6.
8. Зайцева А.А. Влияние параметров и порядка отработки наклонного месторождения блоками на приемную способность внутреннего отвала // ФТПРПИ. — 2003. — №3. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Зайцева А.А., Зайцев Г.Д. — ИГД СО РАН, e-mail: yge@ngs.ru.

