

УДК 622.271

Г.Г. Саканцев

ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНУТРЕННЕГО ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ ОТ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЙ ВЫСОТЫ ОТВАЛЬНЫХ ЯРУСОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОГРАНИЧЕННОЙ ДЛИНЫ

Необходимость повышения эффективности и конкурентоспособности разработки глубокозалегающих месторождений ограниченной длины, какими является большинство отечественных месторождений рудного и нерудного минерального сырья, требует применения внутреннего отвалообразования.

В результате проведенных исследований установлено, что эффективное применение внутреннего отвалообразования при разработке глубокозалегающих месторождений ограниченной длины возможно на основе адаптации способов вскрытия, систем разработки и порядка формирования внутренних отвалов и их параметров к стесненным условиям карьерного пространства. Это в первую очередь применение крутых уклонов вторичных вскрывающих выработок и сложных ступенчатых схем формирования внутренних отвалов, основанных на углубочных системах разработки [1], [2]. При этом установлено, что максимальный эффект достигается при высоте отвала, численно равный глубине карьера. Но в этом случае отдельные отвальные ярусы могут иметь высоту, значительно превышающую устойчивые значения. Необходима разработка мероприятий, обеспечивающих приведение в соответствие

эффективности горных работ и их безопасности, то есть приведение высоты отсыпаемых ярусов в соответствие с максимально допустимыми значениями по условиям устойчивости. Это может быть сделано за счет комбинации ступенчатой и слоевой [3] схем формирования внутренних отвалов. Суть этого заключается в следующем. Первый отвальный ярус формируется путем отсыпки вскрышных пород с продольного борта карьера первой очереди, свободного от транспортных коммуникаций (рис. 1). В нем размещаются вскрышные породы самого верхнего выемочного яруса. В результате разницы в значении угла погашения борта карьера и угла естественного откоса разрыхленных пород последние перекрывают противоположный борт на некоторой высоте h_1 . Эта высота может быть определена по выражению:

$$h_1 = \frac{H_k(\operatorname{ctg}\Theta - \operatorname{ctg}\gamma) - B}{(\operatorname{ctg}\Theta + \operatorname{ctg}\gamma)} \quad (1)$$

где H_k - предельная глубина карьера, м; B - ширина дна карьера, м; γ - угол погашения борта, град.; Θ - угол естественного откоса разрыхленных пород, град.

После отсыпки первого отвального яруса формируется второй отвальный ярус. В нем размещаются вскрышные

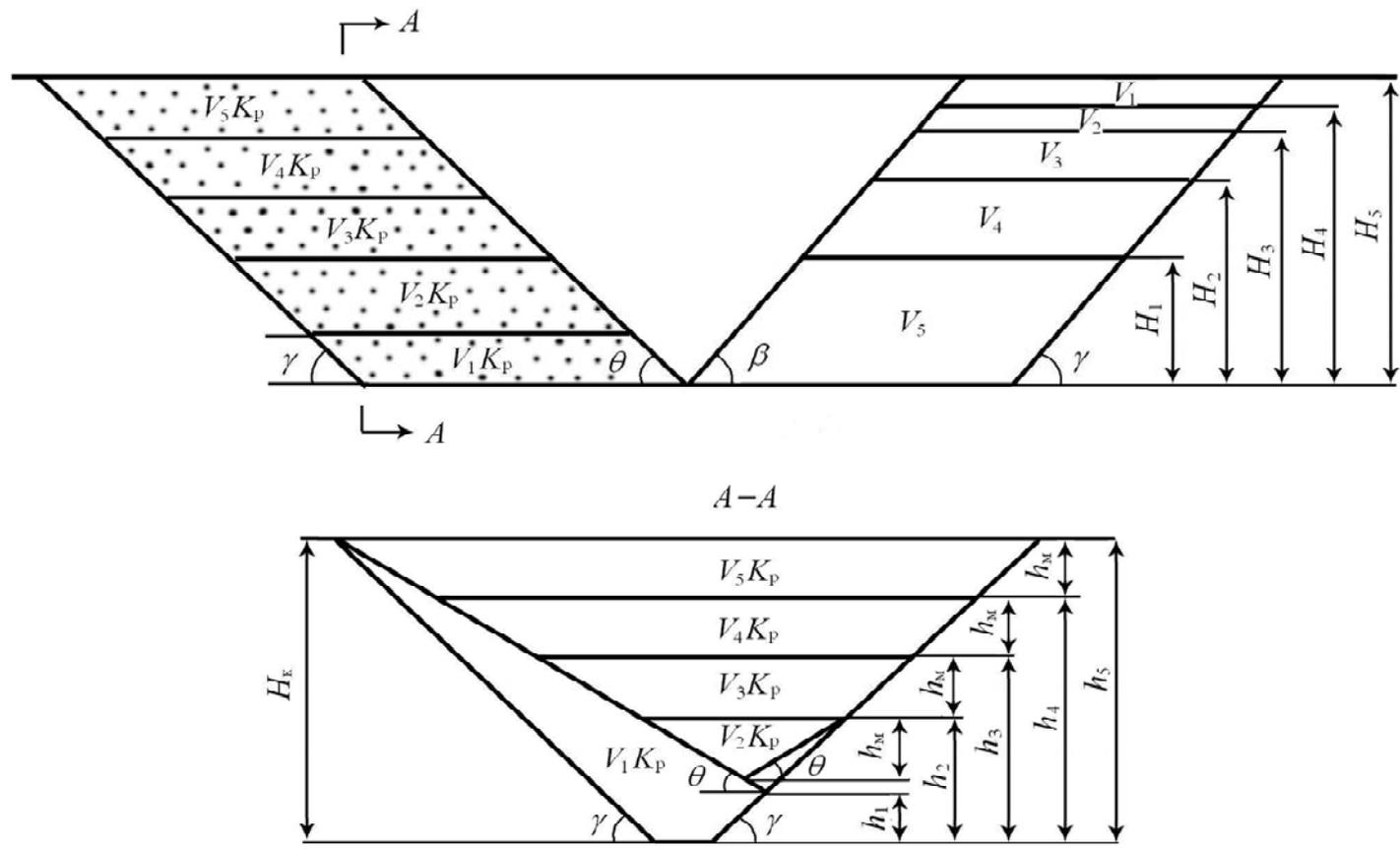


Рис. 1. Схема к определению параметров внутреннего отвалообразования

породы второго выемочного яруса (второго сверху). Перевозка пород производится сверху вниз транспортными средствами, при этом сам ярус формируется путем отсыпки с продольного транспортного борта. Высотная отметка разгрузочной площадки второго отвального яруса определяется по принципу, чтобы высота формирования яруса не превышала максимально допустимой высоты по условиям устойчивости h_m . Исходя из этого высотная отметка второго отвального яруса

$$h_2 = \frac{2h_m \operatorname{ctg}\Theta + H_k (\operatorname{ctg}\Theta - \operatorname{ctg}\gamma) - B}{(\operatorname{ctg}\Theta + \operatorname{ctg}\gamma)} \quad (2)$$

После полной или частичной отсыпки второго яруса начинается последовательное формирование следующих ярусов высотой h_m . При этом нижние отвальные ярусы формируются путем перевозки вскрышных пород сверху вниз, верхние – путем перевозки снизу вверх. Формирование отвальных ярусов будет продолжаться до тех пор, пока высота внутреннего отвала не достигает величины H_k . Высотные отметки выемочных ярусов определяются по формуле:

$$H_i = \sqrt{\frac{L_2 H_{i-1}^2 \operatorname{ctg}\gamma - V_{i-1} / K_p}{L_2 \operatorname{ctg}\gamma}} \quad (3)$$

где H_i - верхняя отметка i -го выемочного яруса, м; V_i - объем i -го отвального яруса, м³; L_2 - длина карьера второй очереди, м; K_p - коэффициент остаточного разрыхления пород в отвале.

Объем i -го отвального яруса с некоторым приближением (с погрешностью до 5 %) может быть вычислен по формуле:

$$V_i = S_i [L_k - L_2 - h_i (\operatorname{ctg}\Theta - \operatorname{ctg}\gamma)] \quad (4)$$

$$L_2 = \frac{(H_k \operatorname{ctg}\gamma + M) [L_k - H_k (\operatorname{ctg}\Theta - \operatorname{ctg}\beta)]}{H_k (1 + K_p) \operatorname{ctg}\gamma + M} \quad (5)$$

В зависимостях (4) и (5):

L_k - длина карьера по дну, м; S_i - площадь поперечного сечения i -го отвального яруса, м²; h_i - высотная отметка i -го отвального яруса, м; M - мощность рудного тела, м; β - угол временно нерабочего борта карьера первой очереди, град.

В результате исследований большого числа вариантов глубины и длины карьеров, мощности рудного тела и максимально допустимой высоты отвальных ярусов установлена зависимость экономии внутрикарьерных перевозок от определяющих факторов:

$$W = (-0,36 + 0,806h_m - 0,0067h_m^2) \times \left[0,38 + 0,31 \frac{L_k}{H_k} - 0,35 \left(\frac{L_k}{H_k} \right)^2 \right] \times (0,78 + 0,0017M - 0,00000165M^2), \% \quad (6)$$

Зависимость удельного веса внутреннего отвалообразования от определяющих факторов имеет вид [2]:

$$D = 37,75 \left[0,343 + 0,335 \frac{L_k}{H_k} - 0,031 \left(\frac{L_k}{H_k} \right)^2 \right] \times (0,797 + 0,001M - 0,00000225M^2), \% \quad (7)$$

Разновысотное расположение одноименных выемочных и отвальных ярусов, значительно усложняет способ вскрытия месторождения.

Вскрышные породы верхних выемочных ярусов должны перевозиться по борту сверху вниз, а нижних – снизу вверх. При этом перевозка вскрышных пород верхних выемочных ярусов сверху вниз должна осуществляться по вскрывающим выработкам карьера первой очереди, так

как вторичные вскрывающие выработки, обеспечивающие вскрытие запасов карьера второй очереди, еще не сформированы. Дополнительной сложностью вскрытия при данной схеме отвалообразования является необходимость обеспечения транспортного доступа к верхним отметкам каждого отвального яруса.

Проблема обеспечения транспортного доступа к ярусам внутреннего отвала с учетом отмеченных особенностей может быть решена двумя способами:

1. Вскрывающие выработки карьера первой очереди располагаются на временно нерабочем борту карьера второй очереди и с верхними отметками ярусов внутреннего отвала соединяются транспортными бермами, устраиваемыми на одном из продольных бортов карьера.

2. Обеспечение транспортного доступа на разгрузочные площадки ярусов внутреннего отвала осуществляется за счет совмещения внутренних съездов и соединительных транспортных берм, располагаемых на одном из продольных бортов карьера первой очереди.

Особенностью первого способа вскрытия является то, что внутренний съезд, обеспечивающий вскрытие запасов карьера первой очереди, не требует дополнительного разноса бортов. Объем дополнительного разноса зависит только от количества и глубины расположения соединительных транспортных берм и определяется по формуле:

$$\Delta V = \sum_{i=1}^{i=j} (L_k + H_k \operatorname{ctg} \gamma - h_i \operatorname{ctg} \gamma) (H_k - h_i) B_{\text{тр}} \quad (8)$$

где $B_{\text{тр}}$ - ширина транспортной бермы, м; B_0 - ширина бермы безопасности, м.

Чем больше максимально допустимая высота отвального яруса и, соответственно, меньше количество берм, тем меньше дополнительный разнос бортов. Так при глубине карьера $H_k = 300$ м, длине его дна $L_k = 900$ м и максимально допустимой высоте отвального яруса $h_m = 80$ м объем дополнительного разноса бортов составляет 12,6 % от объема вскрыши в контурах карьера, при $h_m = 40$ м и при одинаковых прочих параметрах объем дополнительного разноса уже составляет 21,2 %, то есть увеличится почти в 2 раза.

При втором способе вскрытия совмещаются внутренний съезд карьера первой очереди и соединительные транспортные бермы. В результате грузотранспортная связь рабочих горизонтов карьера второй очереди с внутренним отвалом будет частично происходить по внутреннему съезду карьера первой очереди и, частично, по соединительным транспортным бермам. Анализ данного способа вскрытия в разных условиях (длине и глубине карьера и максимально допустимой высоте ярусов внутренних отвалов) показал, что количество соединительных транспортных берм, как правило, не превышает двух. Так при длине карьера 600 м, его глубине 300 м и максимально допустимой высоте отвального яруса $h_m = 60$ м (рис. 2) грузотранспортная связь рабочей зоны с отвальными ярусами, имеющими разгрузочные площадки на отметках 89 и 209 м производится по внутреннему съезду, а с горизонтами 269 и 149 м, являющихся разгрузочными площадками отвальных ярусов 3 и 4, по соединительным транспортным бермам, изображенным на рисунке штриховыми линиями. В случае использования внутренних съездов для обеспечения грузотранспортной связи с внутренним отвалом формирование

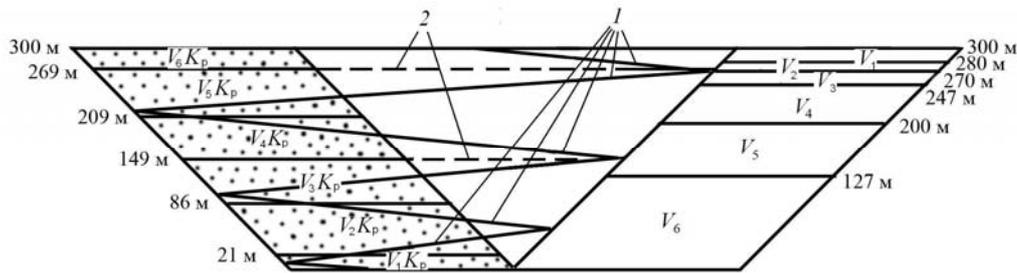


Рис. 2. Схема обеспечения грузотранспортной связи рабочих горизонтов с ярусами внутреннего отвала: 1 – внутренние съезды; 2 – соединительные транспортные бермы

отвальных ярусов начинается непосредственно с внутреннего съезда.

При способе вскрытия, основанном на совмещении внутренних съездов и соединительных транспортных берм, существует определенная закономерность. Чем больше длина карьера и, соответственно, больше длина отвального слоя, тем больше вероятность пересечения внутренним съездом высотных отметок разгрузочных площадок отвальных ярусов в зоне отвального слоя и тем меньше требуется соединительных транспортных берм. Практически во всех случаях соединительные транспортные бермы располагаются в верхней зоне карьера и, как следствие, не оказывают существенного влияния на объем дополнительного разноса бортов. Объем дополнительного разноса бортов складывается, в основном, из объема вторичного внутреннего съезда, обеспечивающего вскрытие запасов карьера второй очереди.

Объем дополнительного разноса бортов при совмещении соединительных транспортных берм с внутренним съездом во всех случаях значительно меньше, чем при применении соединительных транспортных берм в чистом виде. Следовательно, целесообразно при любой максимально допустимой высоте выемочного яруса применять способ вскрытия, основанный

на совмещении внутреннего съезда и соединительных транспортных берм.

В результате экономической оценки технологии ведения горных работ с внутренним отвалообразованием по прямым затратам при вскрытии, основанном на совмещении внутренних съездов и соединительных транспортных берм, установлена статистическая зависимость экономии затрат от определяющих факторов вида:

$$\begin{aligned} \Theta = & [13,4 + 0,068h_m - 0,00059h_m^2] \times \\ & \times \left[-0,098 + 0,353 \frac{L_k}{H_k} + 0,0045 \left(\frac{L}{H} \right)^2 \right] \times \\ & \times [0,44 + 0,28l_n] \times [0,835 + 0,0011M] - \\ & - (9,35 - 0,0325h_m) \times \\ & \times \left[2,122 - 0,437 \frac{L_k}{H_k} + 0,021 \left(\frac{L_k}{H_k} \right)^2 \right], \% \end{aligned} \quad (9)$$

где l_n - расстояние транспортирования вскрышных пород по поверхности (от выездной траншеи из карьера до внешнего отвала), км.

Экономический эффект зависит главным образом от длины карьера и расстояния транспортирования вскрышных работ по поверхности. Чем больше длина карьера и расстояние транспортирования вскрышных пород, тем больше экономический эффект. Значительно меньшее влия-

Относительная величина экономического эффекта при глубине карьера $H_k=300$ м и мощности рудного тела $M=50$ м, %

Высота отвального яруса, м	Длина карьера, м								
	600			900			1200		
	Длина транспортирования вскрыши по поверхности, км								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
40	-4,6	-2,25	0,13	1,71	5,51	9,31	7,79	13,00	18,31
60	-3,68	-1,27	1,13	2,49	6,34	10,10	8,44	11,77	19,10
80	-2,93	-0,56	1,80	2,97	6,75	10,53	8,66	13,89	19,13

ние на экономический эффект оказывают мощность рудного тела и максимально допустимая высота отвального яруса по условиям устойчивости. Увеличение мощности рудного тела на каждые 100 м обеспечивает увеличение экономического эффекта в среднем в 1,1 раза. Степень влияния максимально допустимой высоты отвального яруса хорошо демонстрируют данные таблицы.

В среднем увеличение максимально допустимой высоты отвального яруса с 40 до 80 м ведет к увеличению экономии затрат на 1 % (по отношению к общим затратам на разработку месторождения).

Из таблицы видно, что экономия затрат в целом увеличивается слева направо и сверху вниз. Она определяет область применения внутреннего отвалообразования. Если варианты, имеющие различие по экономии затрат менее 8 %, считать равноценными, то область применения внутреннего отвалообразования находится в правой части таблицы, выделенной жирной линией. При этом, как видно из таблицы, максимально допустимая высота отвальных ярусов практически не влияет на область применения внутреннего отвалообразования. Это область определяется в основном другими факторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Саканцев Г.Г.* Исследование возможностей и условий применения крутых уклонов вскрывающих выработок на глубоких карьерах /Г.Г. Саканцев//Известия Уральского государственного горного университета: Сер: Горное дело. – 2005. – № 21. – С. 37-44.
2. *Саканцев Г.Г.* Ресурсосберегающие технологии при разработке рудных место-

рождений с использованием выработанного пространства //Г.Г. Саканцев //Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 8. – С.226-234.
3. *Саканцев Г.Г.* Внутреннее отвалообразование на глубоких рудных карьерах. Екатеринбург: УрО РАН, 2008, 200 с. **УДК**

Коротко об авторе

Саканцев Г.Г. – кандидат технических наук, Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург.
Рецензент д-р техн. наук, проф. *Ю.И. Лель.*